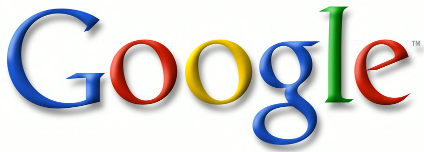




[illegible] 1890

TD





Anfangsgründe

der

Physik

mit Einschluß der

Chemie und mathematischen Geographie

für den

Unterricht an höheren Lehranstalten,

sowie zur Selbstbelehrung

von

Karl Koppe,
Professor.

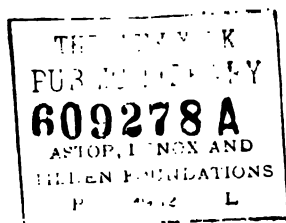
Achtzehnte vermehrte und zum Teil umgearbeitete Auflage

von

Dr. H. Koppe,
Oberlehrer.

Mit 383 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Essen,
Druck und V[illegible] G. D. Bädeker.


609278 A
ASTOR, LENOX AND
L

Vorrede zur achtzehnten Auflage.

Von dem vorliegenden Buche, dessen erste Auflage im Jahre 1848 erschienen ist, hat der Verfasser selbst dreizehn Auflagen herausgegeben. Nach dem Tode des Verfassers (10. November 1874) übernahm sodann zunächst Professor Dahl, jetziger Direktor des Realgymnasiums zu Braunschweig, einem Wunsche des Verstorbenen bereitwilligst entsprechend, die Bearbeitung des Buches als eine vorläufige und besorgte so die Herausgabe der 14. und 15. Auflage; nach dem Erscheinen der letzteren aber wurde die fernere Bearbeitung dem unterzeichneten Sohne des Verfassers anvertraut.

Die große Zahl starker Auflagen beweist wohl zur Genüge, daß es der Verfasser verstanden haben muß, in diesem Buche ein recht zweckentsprechendes, brauchbares Werk zu schaffen. In Anbetracht dieses Umstandes hält es der Bearbeiter für seine zweifellose Pflicht, den eigentümlichen Charakter, welcher dem Buche vom Verfasser bei der ursprünglichen Anlage gegeben worden ist, im ganzen unbedingt zu wahren. Andererseits scheint ihm seine hauptsächlichste Aufgabe darin zu bestehen, bei neuen Auflagen den Fortschritten in wissenschaftlicher und didaktischer Hinsicht, soweit dieselben für den Rahmen des Buches in Betracht kommen können, sorgfältigst Rechnung zu tragen. Hatten aus dem angegebenen Grunde schon die vorhergehenden Auflagen zahlreiche mehr oder weniger erhebliche Änderungen erfahren, so gilt solches in erhöhtem Maße von der jetzigen 18. Auflage. In dieser Hinsicht wird das Folgende hervorgehoben:

Im Hinblick auf die gewaltigen Fortschritte, welche in neuerer Zeit fortgesetzt auf dem Gebiete der Elektricität gemacht worden sind, ist der Bearbeiter zu der Überzeugung gelangt, daß diesen Fortschritten nicht mehr durch bloße Änderung einzelner Paragraphen in genügendem Maße gerecht zu werden war, sondern nur durch eine vollständige Umarbeitung des ganzen in Betracht kommenden Abschnittes. Es ist daher der Abschnitt über Elektricität und im Zusammenhange damit der Abschnitt über Magnetismus von Grund aus einer einheitlichen und zusammenhängenden Umgestaltung unterworfen worden. Es wird hierüber kurz das Folgende angeführt:

War bei der ursprünglichen Anlage des Buches an manchen Stellen der Elektricitätslehre der Stoff unter Zugrundelegung des geschichtlichen Entwicklungsganges der Wissenschaft in einen nur losen und äußerlichen Zusammenhang gebracht, so ist bei der neuen Bearbeitung die Anordnung des Stoffes möglichst nach seinem inneren Zusammenhange und nach didaktischen Rücksichten erfolgt. — Nachdem man in neuester Zeit Mittel und Me den so überaus wichtigen

*) Es sind ist für den physi-
kalischen un zusammenfassend ist
unter diesen d hre vom elektrischen
Potential (Sa

Begriff des elektrischen Potentials anschaulich und auf einfache Weise zu erläutern, hat der Bearbeiter kein Bedenken mehr getragen, auf diesen Begriff (§. 128), für welchen zugleich nach dem Vorgange anderer auch die Bezeichnung Elektricitätsgrad angewendet wird, soweit einzugehen, als es für den Standpunkt des Buches angemessen erschien. Dadurch wird insbesondere ein tieferes oder vielmehr eigentlich wohl überhaupt erst ein richtiges Verständnis für die Wirkungsweise der elektrischen Ansammlungsapparate (elektrische Flasche, Kondensator) sowie für den Vorgang des elektrischen Stromes erzielt. — Beim Galvanismus ist gleich das einfache galvanische Element zum Ausgangspunkte der Betrachtung genommen; die Kontakttheorie aber und die dahin gehörigen Versuche und Gesetze sind nur anhangsweise in kurzer Darstellung berücksichtigt worden, da dieselben jedenfalls für die Entstehung des galvanischen Stromes, des eigentlichen Gegenstandes der Betrachtung, von keiner wesentlichen Bedeutung sind. — Genauer als früher wird dagegen gehandelt von der Stromstärke (§. 145 und 146), dem Widerstande (§. 147), der elektromotorischen Kraft (§. 148, a); auch die Gesetze der Stromverzweigungen (§. 148, b) werden für den einfachsten Fall betrachtet; stärker hervorgehoben und ausführlicher erörtert werden die elektrolytischen Gesetze (§. 151, b), die Wärmeentwicklung durch den Strom und der Stromeffekt (§. 154), die elektrische Kraftübertragung (§. 163) u. a. m.

Vielfache und eingehende Berücksichtigung hat ferner in den verschiedenen Abschnitten des Buches der Begriff der Energie gefunden. Um schon frühzeitig auf das jetzige Grundgesetz der Physik vorzubereiten, ist in betreff der Entstehung von Energie an den dazu geeigneten Stellen stets näher gezeigt worden, wie die neu auftretende Energie lediglich durch Umwandlung einer anderen schon vorhandenen Energieform erhalten wird. Es gilt dies insbesondere von der chemischen Energie (§. 84), der magnetischen (§. 109) und der elektrischen (§. 134, 142 u. a.). Ausführlicher als früher werden von dem angegebenen Gesichtspunkte aus auch die Wärmeerscheinungen (§. 253, b) betrachtet; dabei ist zugleich eine kurze Beschreibung einiger Versuche von Joule zur Bestimmung des mechanischen Äquivalents der Wärme (§. 253, a) eingefügt, desgleichen die Ableitung des mechanischen Äquivalents aus der specifischen Wärme der Luft nach Mayer (§. 253, b).

Von sonstigen sachlichen Änderungen sind noch zu erwähnen: die schärfere Bestimmung des absoluten Maßsystems (§. 36), die Beschreibung der neuesten Form des Phonographen (§. 184), die Umarbeitung der Paragraphen über specifisches Gewicht (21, b), Barometer (61), Luftpumpe (72) u. a. m.

Auf vielseitig geäußerten Wunsch ist dieser Auflage ferner ein kurzer Abriß der mathematischen Geographie als Anhang beigefügt worden. Für die Abfassung desselben hat als Grundlage des Verfassers mathematische Geographie gedient, wie dieselbe, von dem Unterzeichneten wesentlich umgearbeitet und vermehrt, in 3. Auflage (1889) erschienen ist. Es wird daher hinsichtlich der Gesichtspunkte, nach denen der Anhang bearbeitet worden ist, auf die Vorrede der angeführten Auflage hingewiesen.

Im Zusammenhange mit den erwähnten Änderungen ist dem Buche wiederum eine größere Anzahl neuer Holzschnitte beigefügt worden; auch sind manche der

älteren durch neue ersetzt, sodaß die Ausstattung des Buches nicht wenig gewonnen haben dürfte.

Bei der großen Menge des neu aufzunehmenden Stoffes mußte natürlich die Durchführung der angedeuteten Veränderungen an und für sich eine beträchtliche Vermehrung des Umfanges hervorrufen. Um eine solche nach Möglichkeit zu beschränken, ist manches von dem Vorhandenen, was minder wichtig erschien, fortgelassen worden. Dies gilt insbesondere von den geschichtlichen Übersichten, da der in diesen enthaltene Stoff der Hauptsache nach sich schon jedesmal in den betreffenden Paragraphen angegeben findet. Auch ist an manchen Stellen der Ausdruck kürzer und knapper gefaßt, wodurch zugleich die Darstellung, ohne an Klarheit verloren zu haben, an Übersichtlichkeit gewonnen haben dürfte.

Angesichts der neuen Lehrpläne, welche zu Ostern dieses Jahres an den preußischen Anstalten in Geltung treten, will der Bearbeiter nicht unterlassen hervorzuheben, daß das Buch nach seiner ganzen Anlage auch bei einem vorbereitenden Lehrgange in Obertertia und Untersekunda sehr gut verwendet werden kann, indem der sachkundige Lehrer die geeigneten Paragraphen aus dem Ganzen leicht auszuwählen vermag.

Eine sehr wesentliche Verbesserung ist ferner noch hinsichtlich der äußeren Einrichtung des Buches zu verzeichnen. Es hat nämlich die Verlagshandlung in dankenswerter Weise durch Anwendung einer größeren Schrift und eines weiteren Satzes den Anforderungen der neueren Schulhygiene in vollem Umfange Rechnung getragen. Um der durch diese Maßnahme bedingten Vermehrung der Seitenzahl wirksam entgegenzutreten, ist zugleich ein etwas größeres Format des Buches gewählt worden.

Durch die Gesamtheit der Änderungen, namentlich durch die Hinzufügung der mathematischen Geographie, ist das Buch immerhin um beinahe 3 Bogen stärker geworden. Infolgedessen hat die Verlagshandlung eine Preiserhöhung nicht vollständig umgehen können; doch ist diese Erhöhung in Anbetracht der damit verbundenen sehr wesentlichen Verbesserungen wohl nur als eine mäßige zu bezeichnen.

Braunschweig, im März 1892.

H. Koppe.

1. Physics - Systematic treatises, 1842

T.D.

Vorrede zur achtzehnten Auflage.

Von dem vorliegenden Buche, dessen erste Auflage im Jahre 1848 erschienen ist, hat der Verfasser selbst dreizehn Auflagen herausgegeben. Nach dem Tode des Verfassers (10. November 1874) übernahm sodann zunächst Professor Dahl, jetziger Direktor des Realgymnasiums zu Braunschweig, einem Wunsche des Verstorbenen bereitwilligst entsprechend, die Bearbeitung des Buches als eine vorläufige und besorgte so die Herausgabe der 14. und 15. Auflage; nach dem Erscheinen der letzteren aber wurde die fernere Bearbeitung dem unterzeichneten Sohne des Verfassers anvertraut.

Die große Zahl starker Auflagen beweist wohl zur Genüge, daß es der Verfasser verstanden haben muß, in diesem Buche ein recht zweckentsprechendes, brauchbares Werk zu schaffen. In Anbetracht dieses Umstandes hält es der Bearbeiter für seine zweifellose Pflicht, den eigentümlichen Charakter, welcher dem Buche vom Verfasser bei der ursprünglichen Anlage gegeben worden ist, im ganzen unbedingt zu wahren. Andererseits scheint ihm seine hauptsächlichste Aufgabe darin zu bestehen, bei neuen Auflagen den Fortschritten in wissenschaftlicher und didaktischer Hinsicht, soweit dieselben für den Rahmen des Buches in Betracht kommen können, sorgfältigst Rechnung zu tragen. Hatten aus dem angegebenen Grunde schon die vorhergehenden Auflagen zahlreiche mehr oder weniger erhebliche Änderungen erfahren, so gilt solches in erhöhtem Maße von der jetzigen 18. Auflage. In dieser Hinsicht wird das Folgende hervorgehoben:

Im Hinblick auf die gewaltigen Fortschritte, welche in neuerer Zeit fortgesetzt auf dem Gebiete der Elektricität gemacht worden sind, ist der Bearbeiter zu der Überzeugung gelangt, daß diesen Fortschritten nicht mehr durch bloße Änderung einzelner Paragraphen in genügendem Maße gerecht zu werden war, sondern nur durch eine vollständige Umarbeitung des ganzen in Betracht kommenden Abschnittes. Es ist daher der Abschnitt über Elektricität und im Zusammenhange damit der Abschnitt über Magnetismus von Grund aus einer einheitlichen und zusammenhängenden Umgestaltung unterworfen worden. Es wird hierüber kurz das Folgende angeführt:

War bei der ursprünglichen Anlage des Buches an manchen Stellen der Elektricitätslehre der Stoff unter Zugrundelegung des geschichtlichen Entwicklungsganges der Wissenschaft in einen nur losen und äußerlichen Zusammenhang gebracht, so ist bei der neuen Bearbeitung die Anordnung des Stoffes möglichst nach seinem inneren Zusammenhange und nach didaktischen Rücksichten erfolgt. — Nachdem man in neuester Zeit Mittel und Wege*) aufgefunden hat, den so überaus wichtigen

*) Es sind hierüber insbesondere verschiedene Aufsätze in der Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht erschienen; sehr eingehend und zusammenfassend ist unter diesen der Aufsatz von Poske: Experimentelle Einführung in die Lehre vom elektrischen Potential (Jahrgang III, 1890).

Begriff des elektrischen Potentials anschaulich und auf einfache Weise zu erläu
hat der Bearbeiter kein Bedenken mehr getragen, auf diesen Begriff (§. 128),
welchen zugleich nach dem Vorgange anderer auch die Bezeichnung Elektricit
grad angewendet wird, soweit einzugehen, als es für den Standpunkt des B
angemessen erschien. Dadurch wird insbesondere ein tieferes oder vielmehr eigen
wohl überhaupt erst ein richtiges Verständnis für die Wirkungsweise der elektri
Ansammlungsapparate (elektrische Flasche, Kondensator) sowie für den Vorgang
elektrischen Stromes erzielt. — Beim Galvanismus ist gleich das einfache galvan
Element zum Ausgangspunkte der Betrachtung genommen; die Kontakttheorie
und die dahin gehörigen Versuche und Gesetze sind nur anhangsweise in k
Darstellung berücksichtigt worden, da dieselben jedenfalls für die Entstehung
galvanischen Stromes, des eigentlichen Gegenstandes der Betrachtung, von k
wesentlichen Bedeutung sind. — Genauer als früher wird dagegen gehandelt von
Stromstärke (§. 145 und 146), dem Widerstande (§. 147), der elektromotoris
Kraft (§. 148, a); auch die Gesetze der Stromverzweigungen (§. 148, b) we
für den einfachsten Fall betrachtet; stärker hervorgehoben und ausführlicher erö
werden die elektrolytischen Gesetze (§. 151, b), die Wärmeentwicklung d
den Strom und der Stromeffekt (§. 154), die elektrische Kraftübertrag
(§. 163) u. a. m.

Vielfache und eingehende Berücksichtigung hat ferner in den verschied
Abschnitten des Buches der Begriff der Energie gefunden. Um schon frühz
auf das jetzige Grundgesetz der Physik vorzubereiten, ist in betreff der Entste
von Energie an den dazu geeigneten Stellen stets näher gezeigt worden, wie die
auftretende Energie lediglich durch Umwandlung einer anderen schon vorhand
Energieform erhalten wird. Es gilt dies insbesondere von der chemischen Ene
(§. 84), der magnetischen (§. 109) und der elektrischen (§. 134, 142 u. a.).
führlicher als früher werden von dem angegebenen Gesichtspunkte aus auch
Wärmeerscheinungen (§. 253, b) betrachtet; dabei ist zugleich eine kurze Beschreib
einiger Versuche von Joule zur Bestimmung des mechanischen Äquivalents
Wärme (§. 253, a) eingefügt, desgleichen die Ableitung des mechanis
Äquivalents aus der specifischen Wärme der Luft nach Mayer (§. 253, b).

Von sonstigen sachlichen Änderungen sind noch zu erwähnen: die schä
Bestimmung des absoluten Maßsystems (§. 36), die Beschreibung der neu
Form des Phonographen (§. 184), die Umarbeitung der Paragraphen
specifisches Gewicht (21, b), Barometer (61), Luftpumpe (72) u. a. m.

Auf vielseitig geäußerten Wunsch ist dieser Auflage ferner ein kurzer Abriß
mathematischen Geographie als Anhang beigefügt worden. Für die Abfass
desselben hat als Grundlage des Verfassers mathematische Geographie gedient,
dieselbe, von dem Unterzeichneten wesentlich umgearbeitet und vermehrt, in 3. Auf
(1889) erschienen ist. Es wird daher hinsichtlich der Gesichtspunkte, nach denen
Anhang bearbeitet worden ist, auf die Vorrede der angeführten Auflage hingewi

Im Zusammenhange mit den erwähnten Änderungen ist dem Buche wiede
eine größere Anzahl neuer Holzschnitte beigefügt worden; auch sind manche

älteren durch neue ersetzt, sodaß die Ausstattung des Buches nicht wenig gewonnen haben dürfte.

Bei der großen Menge des neu aufzunehmenden Stoffes mußte natürlich die Durchführung der angedeuteten Veränderungen an und für sich eine beträchtliche Vermehrung des Umfanges hervorrufen. Um eine solche nach Möglichkeit zu beschränken, ist manches von dem Vorhandenen, was minder wichtig erschien, fortgelassen worden. Dies gilt insbesondere von den geschichtlichen Übersichten, da der in diesen enthaltene Stoff der Hauptsache nach sich schon jedesmal in den betreffenden Paragraphen angegeben findet. Auch ist an manchen Stellen der Ausdruck kürzer und knapper gefaßt, wodurch zugleich die Darstellung, ohne an Klarheit verloren zu haben, an Übersichtlichkeit gewonnen haben dürfte.

Angesichts der neuen Lehrpläne, welche zu Ostern dieses Jahres an den preußischen Anstalten in Geltung treten, will der Bearbeiter nicht unterlassen hervorzuheben, daß das Buch nach seiner ganzen Anlage auch bei einem vorbereitenden Lehrgange in Obertertia und Untersekunda sehr gut verwendet werden kann, indem der sachkundige Lehrer die geeigneten Paragraphen aus dem Ganzen leicht auszuwählen vermag.

Eine sehr wesentliche Verbesserung ist ferner noch hinsichtlich der äußeren Einrichtung des Buches zu verzeichnen. Es hat nämlich die Verlagshandlung in dankenswerter Weise durch Anwendung einer größeren Schrift und eines weiteren Satzes den Anforderungen der neueren Schulhygiene in vollem Umfange Rechnung getragen. Um der durch diese Maßnahme bedingten Vermehrung der Seitenzahl wirksam entgegenzutreten, ist zugleich ein etwas größeres Format des Buches gewählt worden.

Durch die Gesamtheit der Änderungen, namentlich durch die Hinzufügung der mathematischen Geographie, ist das Buch immerhin um beinahe 3 Bogen stärker geworden. Infolgedessen hat die Verlagshandlung eine Preiserhöhung nicht vollständig umgehen können; doch ist diese Erhöhung in Anbetracht der damit verbundenen sehr wesentlichen Verbesserungen wohl nur als eine mäßige zu bezeichnen.

Braunschweig, im März 1892.

H. Koppe.

Inhalt.

§. **Einleitung.** Seite

1. Physik. — Naturbeschreibung 1
2. Naturgesetz 1
3. Nutzen der Physik 2
4. Physik. — Chemie 2

Erste Abteilung.

Mechanische Erscheinungen.

Erster Abschnitt.

Von den mechanischen Eigenschaften der Körper im allgemeinen.

5. Allgemeine Eigenschaften 4
6. Ausdehnung 4
7. Undurchdringlichkeit 5
8. Porosität 5
9. Teilbarkeit 6
10. Aggregatzustand. Kohäsion 7
11. Festigkeit 7
12. Elasticität 8
13. Adhäsion 9
14. Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern 10
15. Fortsetzung. Kapillarität 10
16. Diffusion und Diosmose 11
17. Krystallisation 12
18. Ruhe und Bewegung 13
19. Trägheit 14
20. Erhaltung der Drehungsebene 16
21a. Von der Schwere 17
21b. Specifisches Gewicht. Dichte 18
22. Das Gravitationsgesetz 20

Zweiter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen fester Körper.

23. Von den Kräften im allgemeinen 22
24a. Zusammensetzung von Kräften, welche auf einen Punkt wirken 23
24b. Zerlegung der Kräfte 25
25. Zusammensetzung und Zerlegung paralleler Kräfte 27
26a. Schwerpunkt 28

§. Seite

26b. Fortsetzung 30
27. Maschine 32
28. Hebel 33
29. Wage 35
30. Rolle 37
31. Wellrad 39
32. Schiefe Ebene 39
33. Schraube 40
34. Keil 41
35. Zusammengesetzte Maschinen 42
36. Größe der bewegenden Kräfte 43
37. Stoß fester Körper 46
38. Trägheitsmoment 48
39. Fall der Körper 53
40a. Mathematisches Pendel 57
40b. Physisches Pendel 60
40c. Anwendungen des Pendels 62
40d. Fortsetzung. Foucaults Pendelversuch . . 64
41. Wurfbewegung 65
42a. Schwungkraft 67
42b. Bewegung der Himmelskörper 72
43. Hindernisse der Bewegung 74
44a. Arbeit 75
44b. Lebendige Kraft 77
45. Spannkraft, Energie 79

Dritter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen flüssiger Körper.

46. Von den flüssigen Körpern im allgemeinen 81
47. Oberfläche des Flüssigen in einem offenen Gefäße 81
48. Allseitige Fortpflanzung des Druckes in einer Flüssigkeit 82
49. Druck des Wassers auf den Boden . . . 84
50. Druck des Wassers auf die Seitenwände 85
51. Kommunizierende Röhren 85
52. Gewichtsverlust fester Körper im Wasser 86
53. Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper 88
54. Ausfluß des Wassers aus Öffnungen . . 89

§. Seite
55. Fortbewegung des Wassers in Röhren und Kanälen 90
56. Stoß des Wassers gegen feste Körper . 91
57. Wellen 91

Vierter Abschnitt.
Von den mechanischen Erscheinungen der luftförmigen Körper.

58. Von den luftförmigen Körpern im allgemeinen 93
59. Der Torricellische Versuch 93
60. Folgerungen aus dem Torricellischen Versuche 94
61. Das Barometer 95
62. Fortsetzung 96
63. Schwankungen des Barometers 96
64. Barometrische Höhenmessung 97
65. Saugheber 99
66. Mariottesches Gesetz 99
67. Anwendung des Mariotteschen Gesetzes . 101
68. Stechheber 102
69. Saug- und Druckpumpe 102
70. Heronsball oder Windkessel und Feuerspritze 103
71. Kompressionspumpe 104
72. Luftpumpe 104
73. Einige Versuche mit der Luftpumpe . . 106
74. Bestimmung des Gewichtes der Gase . 107
75. Luftballon 108
76. Diffusion der Gase 109
77. Absorption der Gase 109

Zweite Abteilung.
Chemische, magnetische und elektrische Erscheinungen.

Fünfter Abschnitt.
Chemische Erscheinungen.

78 Chemische Verbindungen, einfache Stoffe 111
79. Chemische Proportionen 112
80. Atom, Molekül 113
81. Metalle und Metalloide 115
82. Sauerstoff 116
83. Verbrennung 117
84. Chemische Energie 119
85. Verbindungen des Sauerstoffs 119
86. Wasserstoff 120
87. Wasser 122
88. Wertigkeit 123
89. Stickstoff 124
90. Atmosphärische Luft 124
91. Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff 125
92. Ammoniak 126
93. Kohlenstoff 127
94. Verbindungen des Kohlenstoffs mit Sauerstoff 128
95. Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff 130
96a. Schwefel 132
96b. Verbindungen des Schwefels 133
97. Phosphor 134
98. Kiesel 135
99. Chlor 135
100. Salzsäure 136
101. Säure, Base, Salz 137
102. Fortsetzung 139
103. Gesetz der Gasvolume 140

Sechster Abschnitt.
Vom Magnetismus.

104. Grundeigenschaften eines Magnets . . 142
105a. Magnetische Anziehung und Abstoßung 143
105b. Gesetz der magnetischen Fernwirkung . 144
106. Magnetische Verteilung 145
107. Magnetisierung des Stahles 147
108. Innere Zusammensetzung eines Magnets 147
109. Magnetische Energie 148
110. Magnetische Tragkraft 149
111a. Magnetische Abweichung 150
111b. Magnetische Neigung 151
112 Erdmagnetismus 152
113. Intensität des Erdmagnetismus 154
114. Veränderungen des Erdmagnetismus . 155
115. Messung der Stärke eines Magnets . 155
116. Diamagnetismus 156

Siebenter Abschnitt.
Elektricität.
A. Reibungselektricität.

117. Elektrische Grunderscheinungen 157
118a. Elektrische Leitung 157
118b. Isolierung 159
119. Positive und negative Elektricität . . . 160
120. Elektroskop 160
121. Gleichzeitige Erregung beider Elektricitäten 162
122. Reibungselektrisiermaschine 163
123. Ausbreitung der Elektricität auf einem Leiter 165
124. Gesetz der elektrischen Fernwirkung . . 166

§. Seite
125a. Elektrische Verteilung 168
125b. Erklärung einiger Erscheinungen, welche auf elektrischer Verteilung beruhen . . 169
126. Elektrophor 171
127. Influenzelektrisiermaschine 172
128. Elektricitätsgrad 174
129. Ansammlungsapparate 177
130. Elektrische Flasche 179
131. Kondensator 181
132. Weg und Geschwindigkeit der Elektricität 182
133. Wirkungen der elektrischen Entladung 184
134. Elektrische Energie 187
135. Elektrische Natur des Gewitters 188
136a. Blitz und Donner 188
136b. Blitzableiter 190
137. Luftelektricität 191
138. Das Nordlicht 192

B. Galvanische Elektricität (Galvanismus).

139. Galvanische Grunderscheinungen . . . 192
140. Voltasche Kette 196
141. Einige Versuche mit der Voltaschen Kette 200
142. Von den Vorgängen in einer geschlossenen Voltaschen Kette 202
143. Konstante Ketten 203
144. Galvanoskop 206
145. Tangentenbussole 208
146. Voltameter 210
147. Leitungswiderstand 212
148a. Das Ohmsche Gesetz 214
148b. Stromverzweigung 218
149. Wirkungen des galvanischen Stromes . 219
150. Physiologische Wirkungen 220
151a. Chemische Wirkungen 221
151b. Elektrolytische Gesetze 223
152. Anwendungen der Elektrolyse 224
153. Polarisation. Akkumulatoren 225
154. Wärme- und Lichterscheinungen 227
155. Thermoelektricität 229
156. Elektromagnetismus 231
157. Elektrische Telegraphie 233
158. Wirkung eines festen Magnets auf einen beweglichen Strom 237
159. Gegenseitige Wirkung zweier Ströme . 239
160a. Elektrische Induktion 240
160b. Magnetische Induktion 243
161. Induktionsapparate 244
162. Magnet- u. dynamoelektrische Maschinen 245
163. Elektrische Kraftübertragung 252
164. Telephon und Mikrophon 252

§.

Dritte Abteilung.

Schall, Licht und Wärme.

Achter Abschnitt.

Vom Schalle.

165. Schwingende Bewegung schallend Körper . . . .
166. Schwingungszahlen der Töne . . . .
167. Tonverhältnisse . . . .
168. Schwingende Saiten . . . .
169. Schwingende Scheiben . . . .
170. Tönende Schwingungen der Luft . .
171. Lippenpfeifen . . . .
172. Fortsetzung . . . .
173a. Zungenpfeifen . . . .
173b. Die menschliche Stimme . . . .
174. Die Klangfarbe . . . .
175. Fortpflanzung des Schalles in der Lu
176a. Geschwindigkeit des Schalles in der Lu
176b. Fortsetzung . . . .
177. Geschwindigkeit des Schalles in Gase
178. Fortpflanzung des Schalles in feste und flüssigen Körpern . . . .
179. Stärke des Schalles . . . .
180. Zurückwerfung des Schalles . . . . .
181. Mittönende Schwingungen, Resonanz
182. Interferenz der Schallwellen . . . . .
183. Das Organ des Gehörs . . . .
184. Phonograph . . . .

Neunter Abschnitt.

Vom Lichte.

A. Vom Lichte im allgemeine

185. Hypothese über das Licht . . . . . .
186. Leuchtende und dunkle, durchsichtige un undurchsichtige Körper . . . .

B. Von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes oder der O im engeren Sinne.

187. Lichtstrahl, Schatten . . . .
188. Erleuchtung . . . .
189. Optische Kammer . . . .
190. Geschwindigkeit des Lichtes . . . . .

C. Von der Katoptrik oder der Zurückwerfung des Lichtes.

191. Das Reflexionsgesetz . . . .
192. Regelmäßige Reflexion . . . .
193. Unregelmäßige Reflexion . . . .
194. Morgen- und Abenddämmerung . . . .

§. Seite

D. Von der Dioptrik oder der Brechung des Lichtes.

195. Das Brechungsgesetz 296
196. Fortsetzung 299
197. Erklärung der Brechung 302
198. Atmosphärische Strahlenbrechung . . . 305
199. Totale Reflexion 307
200. Luftspiegelung 309
201. Ein Grund der Undurchsichtigkeit . . . 311

E. Von dem farbigen Lichte.

202a. Die Farbenzerstreuung oder Dispersion des Lichtes 312
202b. Die Fraunhoferschen Linien 314
203. Einfache und gemischte Farben 316
204. Natürliche Farben der Körper 317
205a. Die Bläue des Himmels, das Morgen- und Abendrot 319
205b. Der Regenbogen 320
206. Vom Achromatismus 325
207a. Von der Emission des Lichtes 326
207b. Beziehung zwischen Emission und Absorption des Lichtes 328
208. Chemische Wirkungen des Lichtes . . . 330

F. Von den optischen Erscheinungen, welche durch Interferenz entstehen.

209. Von der Interferenz der Lichtwellen im allgemeinen 331
210. Farben dünner Blättchen 333
211. Beugung oder Inflexion des Lichtes . 337
212. Höfe um Sonne und Mond 340

G. Von der Polarisation und der doppelten Brechung des Lichtes.

213. Polarisierung durch Zurückwerfung . . 340
214. Doppelte Brechung des Lichtes 343

H. Von den optischen Instrumenten, vom Auge und vom Sehen.

215a. Gekrümmte Spiegel 344
215b. Fortsetzung 347
216a. Linsen 351
216b. Fortsetzung 355
217. Sphärische und chromatische Abweichung 358
218. Sonnenmikroskop 360
219. Camera obscura 361
220. Lichtbilder 362
221. Der Bau des Auges 363
222. Bedingungen des deutlichen Sehens . 365
223. Physiologische Farben 368

§. Seite

224. Beurteilung der Entfernung und Größe gesehener Gegenstände 369
225. Stereoskop 371
226. Das einfache Mikroskop 373
227. Das zusammengesetzte Mikroskop . . . 374
228. Das Fernrohr 375

Zehnter Abschnitt.

Von der Wärme.

A. Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

229. Von der Wärme im allgemeinen . . . 379
230. Das Thermometer 379
231. Ausdehnung der luftförmigen, flüssigen und festen Körper durch die Wärme . . 382
232. Abweichendes Verhalten des Wassers zwischen 0° und + 4° 386
233. Luftzug in Schornsteinen und geheizten Zimmern 387
234. Von den herrschenden Winden 389
235. Fortsetzung. Buys Ballots Windregel 392

B. Veränderung des Aggregatzustandes.

236. Vom Schmelzen 397
237. Von der Bildung der Dämpfe im allgemeinen 400
238. Spannkraft und Dichtigkeit der Dämpfe 401
239. Kondensation der Gase 404
240. Vom Sieden 405
241. Die Verdampfungswärme 408
242. Die Dampfmaschine 409
243. Dämpfe mit Gasen vermischt 415
244. Hygrometrie 416
245. Nebel, Wolken 419
246. Regen, Schnee, Hagel 421

C. Specifische Wärme.

247. Bestimmung der specifischen Wärme . 423

D. Fortpflanzung der Wärme.

248. Wärmeleitung 426
249. Wärmestrahlung 427
250. Fortsetzung 430
251. Der Tau und der Reif 431

E. Wesen und Quellen der Wärme.

252. Das Wesen der Wärme 432
253a. Quellen der Wärme. Äquivalenz von Wärme und Arbeit 434
253b. Fortsetzung. Erklärung der hauptsächlichsten Wärmewirkungen 437
254. Princip von der Erhaltung der Kraft 439

§. Seite

F. Verteilung der Wärme an der Erdoberfläche.

255. Erwärmung durch die Sonnenstrahlen 442
256. Temperatur der Luft 442
257. Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe 445
258. Isothermen 446
259. Temperatur des Bodens, der Quellen und des Meeres 448

Anhang.

Mathematische Geographie.

A. Der Fixsternhimmel und die Erde.

260. Horizont und Himmelskugel 450
261. Einteilung der Sterne 452
262. Tägliche Drehung des Himmels . . . 453
263. Sterntag und Sonnentag 454
264. Rektascension und Deklination 456
265. Kugelgestalt der Erde 457
266. Geographische Länge und Breite . . . 458
267. Lage der Himmelskugel an verschiedenen Orten der Erde 459
268. Geographische Ortsbestimmung 461
269. Größe und Abplattung der Erde . . . 461
270. Achsendrehung der Erde 463
271. Jährliche Bewegung der Sonne am Himmel 463

B. Die Erde und die Sonne.

272. Von den Jahreszeiten 465
273. Länge und Breite am Himmel 468

§.

274. Rückgang der Nachtgleichen . . . . . .
275. Das Jahr . . . .
276. Die Zeitgleichung . . . .
277. Bewegung der Erde um die Sonne . .
278. Erklärung der Jahreszeiten aus der Bewegung der Erde um die Sonne . .
279. Gestalt der Erdbahn . . . .
280. Ungleichförmige Bewegung der Erde .
281. Tägliche Parallaxe . . . .
282. Parallaxe und Entfernung des Mondes und der Sonne . . . .
283. Jährliche Parallaxe der Fixsterne . . .
284. Aberration des Lichtes . . . .
285. Die Sonne . . . .

C. Der Mond und die Finsternisse

286. Bewegung des Mondes am Himmel .
287. Lichtgestalten des Mondes . . . .
288. Bahn des Mondes um die Erde . . .
289. Der Mond . . . .
290. Sonnen- und Mondfinsternisse . . . .

D. Das Sonnensystem.

291. Bewegung der Planeten am Himmel .
292. Bewegung der Planeten um die Sonne
293. Gesetze der Planetenbewegung . . . . .
294. Die Planeten . . . .
295. Die Störungen . . . .
296. Kometen . . . .
297. Sternschnuppen . . . .

E. Das Weltall.

298. Die Fixsterne . . . .
299. Fortschreitende Bewegung der Sonne und der Fixsterne . . . .

Einleitung.

---

§. 1. Physik. — Naturbeschreibung. Die Physik oder Naturlehre ist ein Zweig der Naturwissenschaft überhaupt. Mit dem Worte Natur umfassen wir alle durch die Sinne wahrnehmbaren Gegenstände. Unsere Wahrnehmung beschränkt sich nicht bloß auf solche Körper, welche unserer Erde angehören; wir beobachten auch noch andere nicht zu unserer Erde gehörende Naturkörper, welchen wir den Namen Himmelskörper beilegen. In betreff der auf unserer Erde befindlichen Naturkörper unterscheiden wir Tiere, Pflanzen und Mineralien. Den Tieren und Pflanzen schreiben wir Leben zu, und da wir an ihnen besondere Werkzeuge (Organe) der Ernährung und bei den Tieren auch der Bewegung wahrnehmen, so nennen wir Tiere und Pflanzen organische Körper; die Mineralien aber, da ihnen dergleichen Werkzeuge fehlen, nennen wir anorganische.

Die Naturkörper, organische wie anorganische, beharren nicht immer in dem nämlichen Zustande, sondern erleiden die mannigfaltigsten Veränderungen (der Größe, Gestalt, des Ortes, den sie einnehmen, der Farbe u. s. w.); und wir bemerken, daß Naturkörper, denselben Bedingungen unterworfen, auch wieder die nämlichen Veränderungen erfahren; z. B. Körper, welche nicht von anderen getragen werden, fallen zur Erde; vermehrte Wärme dehnt die Körper aus u. a. m. Dergleichen Wahrheiten nennen wir Naturgesetze. Ein Naturgesetz ist ein Satz, welcher aussagt, daß ein Naturkörper unter gewissen Bedingungen bestimmte Veränderungen erfährt. Die Physik nun ist die Lehre von den Naturgesetzen, denen die Körper überhaupt, organische sowohl als anorganische, unterworfen sind. Die Naturgeschichte dagegen beschäftigt sich mit den Merkmalen und Erscheinungen der einzelnen Naturkörper, welche sie nach der Übereinstimmung ihrer Merkmale in besondere Gruppen (Naturreiche, Klassen, Ordnungen, Familien, Gattungen, Arten) einteilt.

Diejenige Wissenschaft, welche sich mit den durch den Lebensprozeß der organischen Körper bedingten besonderen Erscheinungen und ihren Gesetzen beschäftigt, heißt Physiologie. — Von den der Erde nicht angehörenden Himmelskörpern handelt die Astronomie.

§. 2. Naturgesetz. Zur Kenntnis der Naturgesetze gelangen wir durch die Erfahrung, teils auf dem Wege der bloßen Beobachtung der Naturerscheinungen,

welche ohne unser Zuthun vorgehen, teils auf dem Wege des *Versuches*, in
wir die Naturkörper in bestimmte Verhältnisse zu einander setzen.

Eine Naturerscheinung erklären heißt, sie auf ein allgemeines Naturge
welchem auch andere Erscheinungen unterworfen sind, zurückführen; so z. B. erkl
wir die größere Wärme am Äquator und die größere Kälte der Polargegenden
das allgemeine Gesetz, daß die Sonnenstrahlen und überhaupt die Lichtstrahlen
so weniger erwärmen, je schiefer sie auffallen. Die *Ursachen* der Erscheinung
aber zu erforschen, sind wir nicht imstande; wir nennen diese uns unbekann
Ursachen, welche die Erscheinungen hervorrufen, *Kräfte*. So schreiben wir z. B. d
Fallen nicht unterstützter Körper der anziehenden Kraft der Erde zu; worin a
diese Kraft besteht, wodurch sie hervorgerufen wird, vermögen wir nicht zu sagen. —
Dergleichen Annahmen, welche nicht unmittelbar durch die Erfahrung selbst gege
sind, und deren wir uns dazu bedienen, um verwandte Erscheinungen übersichtli
zusammen zu fassen, nennen wir *Hypothesen*. Eine Hypothese hat für uns ei
um so größeren Wert, je einfacher die Voraussetzungen sind, durch welche sie Einh
und Zusammenhang in die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen bringt; dennoch ble
die Hypothese immer nur eine Möglichkeit, welche sich wohl zur Wahrscheinlichk
steigern, nie aber Gewißheit werden kann. Sie hört dagegen gänzlich auf zu beste
wenn sie mit irgend einer Erfahrung in Widerspruch tritt, da alle Wahrheit in d
Physik auf der Erfahrung beruht.

Da unsere Kenntnis der Naturgesetze lediglich aus der Erfahrung fließt, wir aber nicht imstan
sind, alle Erfahrungen zu erschöpfen, so kann unsere Kenntnis der Naturgesetze nur eine unvollkomme
sein. Was heute noch für uns als Naturgesetz gilt, kann morgen schon durch neuere Erfahrungen sei
Gültigkeit verloren haben. Die ältere Physik unterschied z. B. elektrische und unelektrische Körper un
sprach es also als ein Naturgesetz aus, daß nur gewisse Körper elektrisch werden könnten, währ
spätere Untersuchungen gezeigt haben, daß ein solcher Unterschied gar nicht besteht.

§. 3. **Nutzen der Physik.** Von dem Nutzen der Physik für das bürger-liche Leben zu sprechen, scheint in unseren Tagen überflüssig, wo neuere Entdeckungen auch sogleich Anwendung in den Gewerben (Dampfmaschine, Lichtbilder, Galvanoplastik, elektrische Telegraphie, Zündhölzchen u. dgl.) gefunden haben, an denen die Höchsten wie die Niedrigsten im Volke teilnehmen. Doch abgesehen von allem unmittelbaren Nutzen, sollte der Schöpfer die Natur im kleinsten wie im größten darum so wunderbar bereitet und uns mit der Fähigkeit aufzufassen und zu begreifen aus-gerüstet haben, daß wir mit verschlossenen oder abgewendeten Sinnen durch diesen Wunderbau hindurchgehen, in welchem sich die Allmacht und die liebende Fürsorge dessen, dem alles Dasein und Erhaltung verdankt, gleich herrlich offenbaren? —

§. 4. **Physik. — Chemie.** Zahlreiche Erfahrungen lehren, daß bei weitem die meisten Körper, auch wenn sie sich unserer sinnlichen Wahrnehmung als durchaus gleichartig zeigen, nicht einfache Stoffe sind, sondern daß dieselben in zwei oder mehr von ihnen wesentlich verschiedene Körper zerlegt und umgekehrt, daß zwei

oder mehr Körper zu einem neuen, von denselben verschiedenen Körper vereinigt werden können. So läßt sich z. B. das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen und aus der Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff wieder Wasser herstellen. Diejenigen Stoffe, in welche ein Körper zerlegt und durch deren Vereinigung derselbe erzeugt werden kann, heißen die *Bestandteile* desselben. Prozesse, bei denen ein Körper in seine Bestandteile zerlegt oder durch Verbindung derselben hervorgebracht wird, überhaupt solche Prozesse, bei welchen ein Körper eine Veränderung seiner Bestandteile erfährt, werden *chemische* genannt. Prozesse dagegen, bei denen ein Körper nur in betreff des einen oder anderen seiner Merkmale, der Lage, der Größe, Gestalt, Farbe, des Zusammenhangs seiner Teile u. dgl. eine Änderung erleidet, während seine Bestandteile die nämlichen bleiben, heißen *physikalische im engeren Sinne*. Die Naturlehre zerfällt hiernach in die beiden Teile *Physik* und *Chemie*. Die *Physik betrachtet die Änderungen des Zustandes*, die *Chemie die Änderungen des Stoffes* der *Körper*. Wir werden es hier hauptsächlich mit den physikalischen Erscheinungen zu thun haben, ohne jedoch die Erörterung chemischer Prozesse ganz auszuschließen.

Diejenigen physikalischen Erscheinungen, welche nur die räumlichen Verhältnisse der Körper betreffen, werden insbesondere *mechanische* genannt.

Erste Abteilung.

Mechanische Erscheinungen.

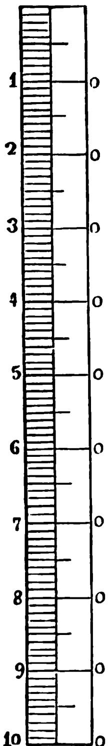
Erster Abschnitt.

Von den mechanischen Eigenschaften der Körper im allgemeinen.

---

§. 5. **Allgemeine Eigenschaften.** Solche Eigenschaften, **welche** a
Körpern zukommen, sind: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, **Porosi**
Teilbarkeit, Trägheit, Beweglichkeit, Schwere. Die ersten **beiden Ei**
schaften, Ausdehnung und Undurchdringlichkeit, heißen **notwend**
allgemeine Eigenschaften, weil ohne sie kein Körper gedacht **werden k**
oder nicht für uns vorhanden sein würde. Die anderen können **zufäll**
allgemeine Eigenschaften genannt werden, weil wir **uns wohl ei**
Körper auch ohne dieselben denken können. Denn obschon z. **B. alle**
bekannten Körper schwer sind, so wäre es doch nicht geradezu **unmög**
daß ein Körper aufgefunden würde, welcher keine Schwere **besäß**

(Fig. 1.)



§. 6. **Ausdehnung.** Jeder Körper ist ausgedehnt, **d.**
er nimmt einen Raum ein. Die Ausdehnung erstreckt **sich nach**
zu einander senkrechten Richtungen; dementsprechend **unterscheiden**
an jedem Körper: Länge, Breite und Höhe. — Die **Größe**
von einem Körper eingenommenen Raumes heißt sein **Volum**
Die Einheit des Volumens bildet gewöhnlich ein Würfel (**cub**
dessen Kante die Länge 1 hat. Als Einheit der Länge **dient**
Meter. Ein Meter (m) ist der vierzigmillionste Teil ei
Meridians der Erde. Dasselbe wird zunächst in 10 Decimeter (d
das Dezimeter in 10 Centimeter (cm) und das Centimeter in 10 Mil
meter (mm) eingeteilt. Eine Länge von 1000 m führt den Na
Kilometer (km). Fig. 1 stellt die ungefähre Größe eines in Ce
und Millimeter eingeteilten Dezimeters dar.

Als Einheit der Fläche nimmt man ein Quadrat, dessen Seite gleich
Längeneinheit ist.

Die im Deutschen Reiche gültigen Maße nebst ihren Abkürzungen sind die folgenden:

Längenmaße: Meter, Centimeter, Millimeter, Kilometer.

1 m (= 10 dm) = 100 cm = 1000 mm; 1 km = 1000 m.

Flächenmaße: Die Abkürzungen der Flächenmaße (Quadratmeter u. s. w.) entstehen durch Versetzung eines q vor die Abkürzungen der Längenmaße.

1 qm (= 100 qdm) = 10 000 qcm = 1 000 000 qmm; 1 qkm = 1 000 000 qm.

100 Quadratmeter führen als Feldmaß den Namen Ar (a); 100 Ar bilden ein Hektar (ha).

1 a = 100 qm; 1 qkm = 100 ha = 10 000 a.

Körpermaße: Die Abkürzungen der Körpermaße (Kubikmeter u. s. w.) erhält man durch Versetzung eines c vor die Abkürzungen der Längenmaße; nur wird ein Kubikmeter zur Unterscheidung von einem Centimeter (cm) durch cbm bezeichnet.

1 cbm (= 1000 cdm) = 1 000 000 ccm = 1 000 000 000 cmm.

Das Kubikdecimeter führt als Hohlmaß den Namen Liter (l); 100 Liter bilden ein Hektoliter (hl).

1 l (= 1 cdm) = 1000 ccm; 1 cbm = 10 hl = 1000 l.

Zur Angabe größerer Entfernungen wird noch vielfach die geographische Meile benutzt, deren 15 auf einen Grad des Äquators gehen. Da hiernach der Umfang der Erde 5400 Meilen, nach dem Obigen aber 40 000 km beträgt, so ist die geographische Meile ungefähr = 7420 m oder rund = 7,5 km.

Früher bediente man sich bei physikalischen Messungen des älteren Pariser Maßes, bei welchem der Fuß in 12 Zoll, der Zoll in 12 Linien geteilt wird. Es ist 1 m = 3,078 Pariser Fuß.

Das Metermaß ist zuerst in Frankreich am Ende des vorigen Jahrhunderts zur Anwendung gekommen und seit 1871 im Deutschen Reiche eingeführt. Behufs Anfertigung und Vergleichung von Metermaßstäben wird zu Paris ein nach den genauesten Messungen hergestellter Platinstab von 1 m Länge als Normalmeter aufbewahrt.

Nach den von französischen Gelehrten bei Einführung des Metermaßes ausgeführten Messungen sollte das Meter der zehnmillionste Teil vom nördlichen Meridianquadranten der Erde sein. Spätere Messungen haben jedoch ergeben, daß das Meter in Wirklichkeit etwas zu klein ausgefallen ist, indem die Länge des nördlichen Meridianquadranten der Erde zu 10 000 856 m gefunden wurde.

§. 7. Undurchdringlichkeit. Die Undurchdringlichkeit ist die Eigenschaft, vermöge deren zwei Körper nicht zugleich an ein und derselben Stelle des Raumes sein können.

In einem Cylinder, welcher mit einem beweglichen Kolben geschlossen ist, wird die Luft um so mehr zusammengepreßt, je größer der auf den Kolben ausgeübte Druck ist; niemals aber ist es möglich, die Luft ganz zu verdrängen, den Kolben bis auf den Boden so niederzupressen, daß gar kein Zwischenraum bliebe, vorausgesetzt, daß der Kolben vollkommen dicht an die Wände des Cylinders anschließt, so daß keine Luft entweichen kann. — Auf diesem Grunde beruht die Taucherglocke, in welcher das Wasser um so höher steigt, je tiefer dieselbe eingesenkt wird, ohne jedoch wegen des Widerstandes der eingeschlossenen Luft den oberen Boden zu erreichen.

§. 8. Porosität. Das den Raum Erfüllende, vermöge dessen die Körper dem Eindringen anderer Körper widerstehen, nennen wir Stoff oder Materie. Die Menge der in einem Körper enthaltenen Materie nennen wir seine Masse.

Die von der Materie eines Körpers nicht ausgefüllten Zwischenräume nennt man Poren. In vielen Körpern sind dieselben schon mit bloßem Auge oder doch durch das Mikroskop wahrnehmbar; aber auch, wenn wir an einem Körper mit dem Auge keine Poren wahrnehmen können, so lassen uns doch anderweitige Erscheinungen auf das Vorhandensein derselben schließen.

Es läßt sich z. B. durch Leder schon bei einem mäßigen, durch Holz bei stärkerem Druck Quecksilber pressen. Setzt man auf zwei gegenüberliegende Seiten eines Backsteines zwei Röhren luftdicht auf und überzieht die sonstige Oberfläche des Steines mit einer luftdicht schließenden Schicht

von Harz, so kann man durch die eine Röhre und den Stein hindurch Luft in die andere bla- Flüssigkeiten vermögen luftförmige Körper in sich aufzunehmen, wie dies bei schäumenden Geträn Bier, Selterswasser und anderen deutlich hervortritt. Diese Erscheinung weist darauf hin, daß i den Flüssigkeiten Stellen vorhanden sind, welche von der Materie des Flüssigen nicht ausgef werden. — Bei den Metallen spricht für das Vorhandensein von Poren die Erscheinung, daß diese im glühenden Zustande von Gasen durchdrungen werden, ferner der folgende Versuch: Als man Wasser angefüllte metallene Kugeln durch starken Druck etwas zusammenpreßte, bedeckte sich Oberfläche mit einem feinen Tau. Dieser Versuch ist zuerst (1661) von den Mitgliedern der Aka zu Florenz mit silbernen Hohlkugeln ausgeführt worden.

§. 9. **Teilbarkeit.** Alle Körper lassen sich teilen, und soweit unsere Erfah reicht, lassen sich diese Teile wieder in kleinere Teile zerlegen. Bei fortges Zerlegung entziehen sich die Teile schließlich der Wahrnehmung unserer Sinne.

Allgemein nehmen die Physiker an, daß die Materie aus kleinsten Teilen be welche durch keine mechanische Kraft noch weiter geteilt werden können. Diese unsere Sinne nicht mehr wahrnehmbaren Teilchen werden **Moleküle** (molec kleine Masse) genannt. Dieselben sind, wie die Physiker sich weiter vorstellen, ni unmittelbar in Berührung mit einander, sondern durch Abstände getrennt, und wer in ihrer gegenseitigen Lage durch anziehende und abstoßende Kräfte gehalten, v denen die ersteren einer Trennung, die letzteren einer Annäherung Widerstand leis Diese zwischen den Molekülen thätigen Kräfte werden **Molekularkräfte** genan Dieselben wirken nur in unmeßbar kleinen Abständen; für jede wahrnehmbare En fernung sind sie unmerklich, wie sich z. B. zeigt, wenn man die Stücke eines z brochenen Körpers wieder in ihren ursprünglichen Zusammenhang bringen will. — Di vorstehend angezeigte Hypothese führt den Namen der **atomistischen** (ἄτομος, unteilbar

Ein Beispiel sehr feiner auf künstlichem Wege hervorgebrachten Verteilung liefert die Vergoldu Das Gold eines Zehnmarkstücks reicht hin, ein Reiterstandbild zu vergolden. — Noch unvergleich feiner sind die Verteilungen, welche bei der Verflüchtigung riechender Stoffe stattfinden. Legt m ein kleines Stückchen Moschus in ein Zimmer, so wird binnen kurzer Zeit sich der Geruch desselbe durch den ganzen Raum des Zimmers verbreiten; und selbst wenn man die Luft im Zimmer mehrm erneuert, wird der Geruch noch deutlich wahrzunehmen sein. Dabei hat das Moschusstück ni merklich an Größe abgenommen.

Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Molekülen hat man sich (wenigstens bei den fe und flüssigen Körpern) wie die Moleküle selbst sehr klein, jedoch im Verhältnis zu diesen recht gr zu denken. Während die Moleküle von unveränderlicher Größe sind, kann ihr gegenseitiger Abst wachsen und abnehmen. — Hiernach besteht die Vergrößerung des Volumens eines Körpers (etwa durc Zug oder durch Erwärmung) darin, daß die Moleküle des Körpers sich von einander entfernen, währen bei einer Zusammenziehung des Körpers die Moleküle ihre Abstände vermindern. — Bei der Auflösun eines festen Körpers in einer Flüssigkeit, z. B. von Zucker in Wasser, dringen die Moleküle des ersteren in die molekularen Zwischenräume der letzteren ein. Ähnliches findet statt, wenn Flüssigkeiten luft förmige Körper in sich aufnehmen, ferner wenn zwei Flüssigkeiten oder zwei Gase sich mit einander vermischen. — Flüssigkeiten und Gase haben keine Poren im gewöhnlichen Sinne (s. d. vorig. §.), sondern nur molekulare Zwischenräume.

Bei dem Mischen zweier Flüssigkeiten findet zuweilen infolge gegenseitiger Anziehung der Moleküle eine Verminderung des Volumens statt. Füllt man ein etwa 1 m langes an dem einen Ende geschlossenes Glasrohr zur Hälfte mit Wasser und gießt dann vorsichtig Spiritus darauf, so lagert sich der leichtere Spiritus zunächst über dem Wasser und füllt die obere Hälfte der Röhre. Schließt m dann die Röhre und kehrt sie um, so mischen sich beide Flüssigkeiten, und es findet eine merkli Zusammenziehung statt. 50 ccm Alkohol und 50 ccm Wasser liefern ungefähr 96 ccm Mischung.

§. 10. Aggregatstand. Kohäsion. In Hinsicht des Zusammenhanges, elcher zwischen den einzelnen Teilen eines Körpers stattfindet, unterscheiden wir uptsächlich drei Zustände der Körper: den *festen*, den *flüssigen* und den *luft-rmigen*, welche wir *Aggregatzustände* nennen. Der nämliche Stoff kann in allen ei Zuständen vorkommen; so kennen wir z. B. das Wasser für gewöhnlich im flüssigen ustande, ferner auch im festen Zustande als Eis und im luftförmigen als Dampf.

Die *festen* Körper setzen der Trennung ihrer Teile einen großen Widerstand tgegen. Absolut fest würde ein Körper sein, dessen Teile sich gar nicht trennen er verschieben ließen. Einen solchen Körper giebt es in der Natur nicht. — Bei n *flüssigen* Körpern besitzen die Teilchen nur einen geringen Zusammenhang; : lassen sich leicht verschieben und von einander trennen. — Die *luftförmigen* örper haben mit den Flüssigkeiten die Eigenschaft gemein, daß ihre Teilchen cht verschoben werden können; dagegen zeigt sich kein Zusammenhang zwischen den zelnen Teilchen; die luftförmigen Körper haben vielmehr das Bestreben, sich aus-dehnen: sie breiten sich durch den ihnen gebotenen Raum vollständig aus.

Nach der atomistischen Hypothese beruht die Verschiedenheit des Aggregatzustandes rauf, daß bei den festen Körpern die anziehenden Kräfte der Trennung der Moleküle ien beträchtlichen, bei den flüssigen nur einen geringen Widerstand entgegensetzen, ß dagegen bei den luftförmigen Körpern die abstoßenden Molekularkräfte die ziehenden überwiegen, so daß ihre Moleküle, wenn nicht ein äußeres Hemmnis tgegensteht, immer weiter aus einander gehn. — Die Kraft, mit welcher die nachbarten Moleküle eines Körpers an einander haften, führt den Namen *Kohäsion*. ieselbe ist bei den festen Körpern groß, bei den flüssigen gering und bei den luft-rmigen Körpern gar nicht vorhanden.

Die gegenseitige Anziehung der Moleküle äußert sich bei den Flüssigkeiten auch in dem Bestreben, nn sie nicht durch störende Einflüsse daran gehindert werden, die Kugelgestalt anzunehmen. Es in nämlich in einer flüssigen Masse, auf welche keine anderen Kräfte einwirken als die Anziehung, lche die Teile derselben auf einander ausüben, offenbar nur bei einer gleichförmigen Verteilung der asse um den Mittelpunkt, also bei der Kugelgestalt Gleichgewicht stattfinden. Wenn flüssige Massen f einer festen Unterlage ruhen, bewirkt die Schwere ein Auseinanderfließen; wird dagegen die Masse : Einwirkung der Schwere entzogen oder kann die ganze Masse der Einwirkung der Schwere gleich-tig folgeleisten, so nimmt sie Kugelgestalt an. Dies zeigt sich z. B. deutlich darin, daß kleinere assen beim freien Fallen kugelförmige Tropfen bilden. — Hiernach dürfte die Erde bei der Annahme, ß sich dieselbe früher in einem geschmolzenen Zustande befunden hat, im eigentlichen Sinne einem opfen im Weltraume zu vergleichen sein.

Größere Flüssigkeitsmassen können durch das folgende Verfahren der Einwirkung der Schwere tzogen werden. Da Wasser specifisch schwerer, Alkohol leichter als Öl ist, so läßt sich aus Wasser d Alkohol eine Mischung herstellen, welche mit dem Öle gleiches specifisches Gewicht hat. Bringt in nun in diese Mischung vermittelst eines langhalsigen Trichters etwas Öl, so gestaltet sich dasselbe einer Kugel, welche frei in der Flüssigkeit schwebt.

§. 11. Festigkeit. Der durch die Kohäsion bedingte Widerstand, welchen e festen Körper der Trennung ihrer Teile entgegensetzen, heißt *Festigkeit*. Die estigkeit eines Körpers wird durch die Belastung gemessen, welche gerade hinreicht, ne Tr[illegible] Teile zu bewirken. Sie kann bei demselben Stoffe nach der ei[illegible] ...r Wirkungsweise der Kraft, ob sie z. B. den Körper zu

zerreißen oder zu zerbrechen oder zu zerdrücken strebt, sehr verschieden sein. Au
die innere Beschaffenheit des Körpers von Einfluß. So hat z. B. Holz unter übri
gleichen Verhältnissen in der Richtung der Fasern eine größere Festigkeit als se
dazu. — Durch große Festigkeit zeichnet sich insbesondere das Eisen aus.

Von den mannigfaltigen Abstufungen im festen Zustande der Körper heben wir die folgenden he

Ein Körper heißt hart, dessen Teile sich sehr schwer verschieben lassen; unter allen be Körpern besitzt der Diamant die größte Härte. Das Gegenteil von hart heißt weich. Sp heißt ein Körper, dessen Teile schon bei einer geringen Verschiebung sich gänzlich trennen, z. B. ganz besonders spröde ist rasch gekühltes Glas. Das Gegenteil von spröde ist zähe: die Teile zähen Körpers lassen sich leicht verschieben, setzen aber der Trennung einen großen Widerstand en Dehnbar heißt ein Körper, welcher sich leicht nach der einen oder andern Richtung verlängern ohne daß hierdurch der Zusammenhang seiner Teile ganz aufgehoben wird. Die meisten M sind dehnbar; die größte Dehnbarkeit besitzt das Gold.

Nach der Wirkungsweise der angreifenden Kraft unterscheidet man verschiedene Arten von Fe

Die absolute oder Zugfestigkeit ist der Widerstand, welchen ein Körper dem Zer entgegensetzt. Dieselbe wächst bei dem nämlichen Körper in gleichem Verhältnisse mit Querschnitte.

Die relative oder Biegungsfestigkeit ist der Widerstand, welchen ein Körper dem Zerbr entgegensetzt. Wenn man einen Balken von rechteckigem Querschnitt an beiden Enden unterstützt in der Mitte belastet, so steht die Biegungsfestigkeit desselben in gleichem Verhältnisse mit Breite, im quadratischen der Höhe und im umgekehrten der Länge. Derselbe Ba besitzt demnach eine größere Biegungsfestigkeit, wenn die schmalen Seiten wagerecht, die breiten Se aufrecht stehen. — Röhren besitzen eine größere Festigkeit als massive Cylinder von gleichem Gew und gleicher Länge. Die röhrenförmigen Knochen gewähren also den Vorteil, daß sie bei gering Gewicht doch noch eine große Festigkeit besitzen.

Die rückwirkende oder Druckfestigkeit ist der Widerstand, welchen ein Körper dem Zerdrü entgegensetzt. Sie wächst im allgemeinen mit der Größe des Querschnittes und nimmt mit der Höhe

Das Gewicht in kg, welches erforderlich ist, um einen stabförmigen Körper von 1 qmm Qu schnitt zu zerreißen, bezeichnet man als den Koefficienten der Zugfestigkeit. Die folgende Ta giebt den (mittleren) Wert desselben für einige Stoffe an.

Gußstahl	100	Silber	29	Zink	4
Stahl	80	Gold	27	Blei	1,5
Eisendraht	70	Kupfer	25	Holz	8
Schmiedeeisen	40	Messing	12	Hanfseil	5

§. 12. **Elasticität.** Eine Wirkung der Molekularkräfte ist auch die Elasticität oder Federkraft. Elasticität ist die Eigenschaft eines Körpers, seine ursprüngliche Gestalt, wenn sie durch Einwirkung einer äußeren Kraft (Druck oder Zug) eine Änderung erfahren hat, nach dem Aufhören der Kraft wiederherzustellen. Vollkommen elastisch heißt ein Körper, welcher vollständig und mit derselben Kraft, mit welcher er zusammengedrückt oder ausgedehnt worden ist, seine vorige Gestalt wieder herstellt. Ein Körper, welcher diese Eigenschaft für jede noch so große Kraft und für jede noch so große Änderung seiner Gestalt besitzt, wird in der Natur nicht angetroffen; andererseits giebt es auch keinen ganz unelastischen Körper; ein jeder Körper zeigt, wenn der Druck und die Formveränderung eine gewisse Grenze nicht übersteigen, das Bestreben, seine frühere Gestalt wiederherzustellen. Diese Elasticitätsgrenze, innerhalb welcher sich ein Körper vollkommen elastisch zeigt, ist für schiedene Körper sehr verschieden.

Der höchste Grad von Elasticität bis zu einer sehr weiten Grenze kommt den luftförmigen Körpern zu; sie lassen sich schon durch eine verhältnismäßig geringe Kraft sehr stark zusammenpressen. — Flüssigkeiten erleiden auch bei sehr großem Drucke nur eine geringe Verminderung ihres Volumens; bei nachlassendem Druck dehnen sie sich aber mit derselben Kraft wieder aus, mit welcher sie zusammengepreßt worden sind, und nehmen, wenn der Druck aufhört, ihren ursprünglichen Raum wieder ein. Bei den Flüssigkeiten ist daher die Elasticitätsgrenze eine sehr enge, die Kraft der Elasticität dagegen sehr bedeutend.

Unter den festen Körpern besitzen Stahl, Gummi, Fischbein u. a. m. eine bedeutende Elasticität.

Höchst mannigfaltig sind besonders die Anwendungen, welche der elastische Stahl findet; wir führen als Beispiele an: die Federn, mit denen wir schreiben, die Federn in Schlössern und Taschenmessern, die Springfedern in Polstern, die spiralförmig gewundenen Federn in Taschen- und Tafeluhren, welche, indem sie sich etwas aufrollen, das Räderwerk in Bewegung setzen, die elastischen Federn in den Feder- oder Ziehwagen u. a. m.

Von Körpern, welche (nahezu) unelastisch sind, heben wir Blei und Thon hervor.

Innerhalb der Grenze der vollkommenen Elasticität gilt das Gesetz: Die Veränderung des Volumens ist der Größe der einwirkenden Kraft proportional. — Unter denselben Verhältnissen ist ferner die Verlängerung oder Verkürzung, welche ein stabförmiger Körper durch Zug oder Druck erleidet, seiner Länge direkt, seinem Querschnitte umgekehrt proportional.

Der Bruchteil, um welchen ein stabförmiger Körper von 1 qmm Querschnitt durch eine Kraft von 1 kg ausgedehnt wird, führt den Namen Elasticitätskoefficient. Derselbe beträgt z. B. beim Stahl ungefähr $^1/_{20000}$. Ein Stahlstab von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt verlängert sich also bei einem Zuge von 1 kg um $^1/_{20}$ mm. — Denkt man sich den Stahlstab auch über seine Elasticitätsgrenze hinaus noch vollkommen elastisch, so würde er sich bei einer Belastung von 20 000 kg auf die doppelte Länge ausdehnen. Das Gewicht in kg, durch welches ein stabförmiger Körper von 1 qmm Querschnitt um seine eigene Länge ausgedehnt würde, wenn er bis dahin vollkommen elastisch bliebe, wird Elasticitätsmodul genannt. Derselbe ist gleich dem umgekehrten Werte des Elasticitätskoefficienten.

Die folgende Tabelle enthält für einige Stoffe unter m den Elasticitätsmodul und unter e die Belastung in kg, bei welcher ein Stab von 1 qmm Querschnitt die Grenze der vollkommenen Elasticität erreicht.

	m	e		m	e
Gußstahl	30 000	65	Kupfer	10 000	3
Stahl	20 000	25	Blei	600	1
Schmiedeeisen	20 000	15	Holz	1 000	2

Die Torsionselasticität, die Kraft, mit welcher ein elastischer Stab, Draht, eine Saite u. dgl., wenn sie eine Drehung erfahren, in die ursprüngliche Lage zurückzukehren streben, ist innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität unter übrigens gleichen Umständen dem Drehungswinkel direkt proportional.

§. 13 (14*). Adhäsion. Wenn man zwei sorgfältig abgeschliffene Glastafeln mit einander in Berührung bringt, so haften dieselben so fest zusammen, daß man sie kaum wieder aus einander bringen kann. Ebenso bleiben Flüssigkeiten an festen Körpern hängen, mit denen sie in Berührung gebracht werden. Wir schließen hieraus, daß nicht bloß die Moleküle desselben Körpers sich anziehen, sondern daß das nämliche auch bei den Molekülen verschiedener Körper in der Berührung der

*) Paragraphenzahl der 17. Auflage.

Fall ist. Man nennt diese zwischen den Molekülen zweier **verschiedenen** Körper stattfindende Anziehung **Adhäsion.**

Erscheinungen, welche auf Adhäsion beruhen, sind: das Anlegen des Staubes an die Decke und die Wände des Zimmers, das Schreiben mit Kreide, Bleistift, Tinte, das Vergolden, Verkupfern, Plattieren (Zusammenwalzen zweier Metallplatten). — Ferner gehört hierher das Leimen. Da nämlich die Oberflächen fester Körper niemals vollkommen glatte Flächen bilden, so können sie sich immer nur in einer beschränkten Zahl von Punkten berühren. Viel inniger dagegen berühren sich eine feste und eine flüssige Masse; und da diese Berührung fortbesteht, nachdem der flüssige Körper, der Leim, erstarrt ist, so hält die hieraus hervorgehende starke Adhäsion, sowie auch die Kohäsion der Teile des Leimes unter sich die durch den Leim verbundenen Körper zusammen. Ähnliches gilt vom Kitten, Löten, dem Belegen der Spiegel mit Amalgam u. dergl. m.

§. 14 (15). **Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern.** Wenn man einen festen Körper in eine Flüssigkeit taucht und dann wieder herauszieht, so bleiben entweder Teilchen des Flüssigen an der Oberfläche des festen Körpers haften, und man sagt dann, der feste Körper werde von dem flüssigen **benetzt**, oder dieses ist nicht der Fall. Im ersteren Fall ist offenbar die Adhäsion zwischem dem festen und flüssigen Körper größer als die Kohäsion der Teile der Flüssigkeit unter sich; im anderen Falle findet das Umgekehrte statt. So wird z. B. Glas von Wasser, aber nicht von Quecksilber benetzt. Vom Wasser bleiben fette Körper unbenetzt. Man kann die mit Fett bestrichene Hand ins Wasser tauchen und trocken wieder heraus ziehen.

Von hierhergehörigen Erscheinungen führen wir noch die folgenden an: die Federn der Schwimmvögel sind durch eine ölige Fettigkeit gegen das Naßwerden, ebenso viele Baumknospen, z. B. die der Roßkastanie, durch fettiges Harz der einhüllenden Schuppen gegen das Eindringen des Regens gesichert. — Wenn kleinere Mengen einer Flüssigkeit sich auf einer Unterlage befinden, welche von derselben benetzt wird, z. B. Wasser auf Glas, so fließen sie auseinander. Dagegen sammelt sich Quecksilber auf Glas, Wasser auf fettigen Körpern in kleinen Kugeln, Tropfen, an. — Sehr kleine Quecksilbertropfen haften an Glasplatten, ein Zeichen, daß auch zwischen Glas und Quecksilber eine Adhäsion stattfindet. — Wenn man aus einem Gefäße eine Flüssigkeit, welche die Wände desselben benetzt, unter einem kleinen Neigungswinkel ausgießt, so fließt die Flüssigkeit nicht senkrecht, sondern an den Wänden des Gefäßes herab. Dieses ist weniger bei einer Flüssigkeit der Fall, welche die Wände des Gefäßes nicht benetzt. Daher ist es leichter, aus einem vollen Gefäße Quecksilber als Wasser auszugießen. — Körper von geringem Durchmesser schwimmen auf Flüssigkeiten, von denen sie nicht benetzt werden, auch wenn sie specifisch schwerer sind. So z. B. kann man eine Nähnadel auf Wasser zum Schwimmen bringen; dieses gelingt aber nicht, wenn man die Nadel vorher durch Waschen mit Weingeist von allen anhaftenden Fetten gereinigt hat. Ebenso vermögen viele Insekten über die Oberfläche des Wassers zu laufen, oder vielmehr hinzugleiten, ohne daß sie einsinken. — Vom Quecksilber werden Gold, Silber, Kupfer, aber nicht Eisen benetzt.

§. 15. **Fortsetzung. Kapillarität.** Je nachdem ein Körper von einer Flüssigkeit benetzt oder nicht benetzt wird, findet ferner folgende Verschiedenheit statt:

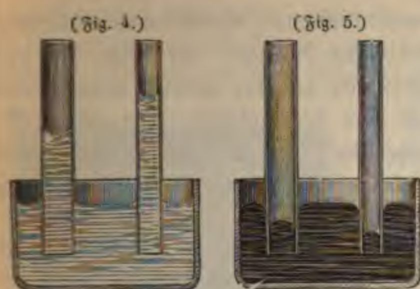
1) Eine Flüssigkeit steht in einem Gefäße, dessen Wände sie benetzt, z. B. Wasser in einem Glase, am Rande **höher** als in der Mitte und bildet also am Rande eine **konkave** Oberfläche (Fig. 2). Dagegen steht in einem Gefäße, dessen Wände nicht benetzt werden, die Flüssigkeit, z. B. Quecksilber in einem Glase, am Rande **tiefer** als in der Mitte, und die Oberfläche der Flüssigkeit ist also am Rande **konvex** (Fig. 3).

(Fig. 2.)



(Fig. 3.)




(Fig. 4.) (Fig. 5.)

2) Wenn man ein gläsernes Röhrchen ins Wasser taucht, so steigt das Wasser in demselben in die Höhe und zwar um so höher, je enger das Röhrchen ist (Fig. 4). Dagegen steht Quecksilber in einem gläsernen Röhrchen tiefer als außerhalb im Gefäße (Fig. 5).

Da diese Erscheinungen besonders bei Röhrchen auftreten, deren innerer Durchmesser so klein wie der eines Haares ist, so nennt man sie Erscheinungen der Kapillarität (capillum, Haar).

Auf der Kapillarität beruht eine Menge bekannter Erscheinungen: das Einsaugen des Wassers von Schwamm, Löschpapier, Zucker, trockenem Holze u. dgl., Körpern, deren Poren zusammenhängende feine Kanäle bilden; ferner das Aufsteigen der Tinte in dem Spalte der Feder, des Weingeistes, Öles, geschmolzenen Talges in den Dochten; das Feuchtwerden einer Mauer, die auf nassem Grunde steht; das Abwischen des Schweißes vermittelst eines Tuches u. a.

Wie groß die Kraft der Kapillarität ist, kann man daraus sehen, daß man vermittelst derselben Steine zu sprengen vermag, indem man in Spalten Keile von trockenem Holze eintreibt und sie dann befeuchtet, wodurch sie ausgedehnt werden und die Felsen auseinander reißen. Ebenso werden Stricke, welche durch eine bedeutende Kraft gespannt sind, verkürzt, wenn man sie befeuchtet, indem sie sich in der Dicke ausdehnen.

Unter den bekannteren Flüssigkeiten steigt Wasser in gläsernen Röhrchen am höchsten, bei 1 mm Durchmesser bis 30 mm. Die Steighöhe ist der Weite der Röhre umgekehrt proportional.

§. 16. Diffusion und Diosmose. Manche Flüssigkeiten, wie z. B. Wasser und Öl, zeigen keine Neigung sich zu vermischen; selbst wenn sie durcheinander geschüttelt werden, lagern sie sich nach einiger Zeit wieder nach der Verschiedenheit ihres specifischen Gewichtes über einander, so daß das leichtere Öl auf dem schwereren Wasser schwimmt. Es erklärt sich diese Erscheinung dadurch, daß die Adhäsion des Wassers zum Öle geringer ist als die Kohäsion der Wasserteilchen einerseits, der Ölteilchen andererseits. — Andere Flüssigkeiten, wie Wasser und Weingeist, zeigen ein entgegengesetztes Verhalten. Selbst wenn man in ein Gefäß erst Wasser und dann vorsichtig gefärbten Weingeist darüber gießt, so zeigt sich nach einiger Zeit, daß auch die unteren Schichten Weingeist, die oberen Wasser enthalten. Es ist Weingeist in dem schwereren Wasser nach unten gegangen, Wasser in dem leichteren Weingeist emporgestiegen. Dieser Vorgang findet so lange statt, bis beide Flüssigkeiten in dem Gefäße gleichförmig gemischt sind. Man nennt die angeführte Erscheinung, bei welcher die Adhäsion der Flüssigkeiten zu einander die Kohäsion zwischen den Teilen derselben Flüssigkeit überwiegt, Diffusion.

Auch wenn zwei mischbare Flüssigkeiten, z. B. Wasser und eine Lösung von Kupfervitriol, durch eine poröse Scheidewand, welche von den Flüssigkeiten durch Kapillaranziehung in sich einsaugt, z. B. durch eine tierische Blase, von einander getrennt werden, findet durch die Poren dieser Wand ein Austausch der Flüssigkeiten statt, welcher solange dauert, bis die Mischung auf beiden Seiten gleichartig ist. Dabei tritt von der einen Flüssigkeit, im obigen Beispiele dem Wasser, mehr durch die Scheidewand hindurch als von der anderen Flüssigkeit, der Kupfervitriollösung. Diese *Erscheinung bezeichnet* man mit dem Namen Diosmose oder

Endosmose (ὠσμός, Stoß). Dieselbe wird wesentlich durch die Molekularanziehung zwischen dem porösen Körper und den Flüssigkeiten bedingt. Es zeigt sich dies deutlich darin, daß je nach der Natur der Flüssigkeit und der porösen Scheidewand von der einen Flüssigkeit mehr durchdringt als von der anderen. So geht z. B., wenn Wasser und Weingeist durch eine tierische Blase getrennt sind, vom Wasser mehr über als vom Weingeist. Das Umgekehrte findet dagegen statt, wenn die Scheidewand von Kautschuk gebildet wird.

(Fig. 6.)



Die Erscheinung der Diosmose läßt sich leicht durch folgenden Versuch veranschaulichen. Wenn man an einem Medizinglase den Boden absprengt und dasselbe unten mit einer tierischen Blase überbindet, hierauf vollständig mit einer Auflösung von Kupfervitriol in Wasser füllt und den Hals mit einem Korke, durch welchen eine gläserne Röhre hindurchgeht, verschließt, dann dieses Gläschen b (Fig. 6) in ein mit Wasser gefülltes Gefäß a einsenkt, so sieht man sehr bald die Flüssigkeit in der Röhre c steigen und sich allmählich zu einer beträchtlichen Höhe erheben, während das Wasser in dem äußeren Gefäße a fällt. Es muß daher Wasser durch die Blase aus dem weiteren Gefäße in das engere getreten sein. Daß aber auch umgekehrt Kupfervitriollösung durch die Blase in der entgegengesetzten Richtung hindurchgegangen ist, zeigt die blaue Färbung der Flüssigkeit in dem äußeren Gefäße. — Dasselbe Verhalten wie Wasser und Kupfervitriollösung zeigen überhaupt Wasser und eine Auflösung von einem Salze oder Zucker in Wasser u. a. m.

Unter den porösen Körpern sind es insbesondere tierische Häute und solche von Pflanzen, welche die Erscheinungen der Diosmose in hohem Grade darbieten. — Diese Erscheinungen sind von besonderer Wichtigkeit für den Ernährungsprozeß der Pflanzen und Tiere. Sie erklären (zum Teil) das Einsaugen des Wassers durch die feinen Wurzelenden der Pflanzen und das Emporsteigen des Pflanzensaftes, ferner das Durchdringen des Nahrungssaftes durch die zarten Gefäße in den Wandungen des Darms der Tiere.

§. 17. **Krystallisation.** Auf einer Wirkung der Molekularkräfte beruht auch die Erscheinung, daß flüssige Körper, welche in den festen Zustand übergehen, wenn sie dabei keine Störung erleiden, gesetzmäßig gestaltete Formen annehmen, welche mit dem Namen Krystalle bezeichnet werden. Wir kennen zwei Mittel, feste Körper flüssig zu machen, durch Auflösen und durch Schmelzen. — Wenn man Kochsalz oder Zucker in Wasser auflöst und dann in einem offenen Schälchen die Flüssigkeit verdunsten läßt, so sieht man das Salz in Würfeln, den Zucker in vier- und sechsseitigen Säulen anschießen. — Wenn man Schwefel in einem Tiegel schmelzt, denselben dann allmählich erkalten läßt, und nachdem die oberste Schicht erstarrt ist, dieselbe durchsticht und die noch flüssige Masse ausgießt, so sieht man, daß im Inneren der erstarrte Schwefel in regelmäßigen Nadeln angeschossen ist.

Die Krystalle werden im allgemeinen um so größer und vollständiger, je langsamer der Übergang aus dem festen in den flüssigen Zustand geschieht. Sie legen sich gern an feste Körper an; es bilden sich daher die ersten Krystalle gewöhnlich an den Wänden und am Boden des Gefäßes.

Viele Stoffe lösen sich in größerer Menge in heißem als in kaltem Wasser auf. So vermögen 100 g kaltes Wasser nur ungefähr 25 g Salpeter, 100 g siedendes Wasser, dagegen über 200 g Salpeter aufzulösen. Läßt man die letztere Auflösung allmählich erkalten, so krystallisiert der größte Teil des in derselben enthaltenen Salpeters in sechsseitigen Säulen. Die Krystalle fallen jedoch bei einer weniger konzentrierten Auflösung schöner und größer aus.

(Fig. 7.)



Salze, welche wie das Kochsalz im kalten und heißen Wasser gleich löslich sind, werden durch Verdunstung des Wassers zum Krystallisieren gebracht.

Auch das Wasser zeigt beim Frieren Neigung zum Krystallisieren. An den gefrorenen Fensterscheiben bemerkt man feine Eisnadeln, welche regelmäßig sich unter Winkeln von 60°, auch wohl von 30° an einander legen. Ebenso zeigen die Schneeflocken, von denen Fig. 7 einige Beispiele darstellt, regelmäßige Gestaltungen, welchen die Form des regelmäßigen Sechsecks zu Grunde liegt.

§. 18. Ruhe und Bewegung. Jeder Körper befindet sich entweder im Zustande der Ruhe oder der Bewegung. Unter Bewegung verstehen wir die Veränderung des Ortes, unter dem Orte die Stelle, welche ein Körper im Raume einnimmt. Um den Ort eines Körpers zu bestimmen, sind wir genötigt, denselben auf andere Körper zu beziehen, deren Lage wir als gegeben annehmen. Wollen wir z. B. angeben, wo wir uns selbst befinden, so beziehen wir uns auf unsern Wohnort; die Lage unseres Wohnorts bestimmen wir, indem wir gewisse Punkte oder Linien auf der Erde als gegeben annehmen; wollten wir aber weiter fragen, wo die Erde sich befindet, so werden wir uns leicht überzeugen, daß wir hierauf keine bestimmte Antwort zu geben imstande sind. Selbst wenn wir auch die Lage der Erde gegen andere Weltkörper zu bezeichnen vermöchten, so würde man uns doch weiter nach der Lage dieser Körper fragen können. Es ist hiernach wohl einleuchtend, daß es überhaupt nicht möglich ist, den absoluten Ort eines Körpers im Raume anzugeben, und daß wir nur imstande sind, den relativen Ort eines Körpers zu bestimmen, indem wir ihn auf andere Körper beziehen, deren Lage wir uns als gegeben denken. Ebenso vermögen wir nur die relative, niemals die absolute Bewegung eines Körpers festzustellen.

Bei einer Bewegung berücksichtigen wir zunächst den Weg, die Zeit und die Geschwindigkeit.

Den Weg messen wir nach Metern, Meilen u. dgl., die Zeit nach Jahren, Tagen, Stunden u. s. w. Durch die Vergleichung des Weges mit der Zeit gelangen wir zu dem Begriffe der Geschwindigkeit. Legt ein Körper in gleichen Zeiten immer gleiche Wege zurück, so versteht man unter Geschwindigkeit den in einer Zeiteinheit zurückgelegten Weg. Als Zeiteinheit nimmt man in der Regel die Sekunde. Legt ein Körper in gleichen Zeiten ungleiche Wege zurück, so versteht man unter der Geschwindigkeit den Weg, welchen der Körper in der Zeiteinheit zurücklegen würde, wenn der Zustand der Bewegung, in welchem er sich gerade in dem betrachteten Augenblicke befindet, unverändert fortdauerte. — Eine Bewegung, bei welcher die Geschwindigkeit beständig dieselbe

bleibt, heißt gleichförmig; ändert sich aber die Geschwindigkeit, so heißt die Bewegung ungleichförmig. Die ungleichförmige Bewegung kann beschleunigt und verzögert sein. Ein Beispiel einer beschleunigten Bewegung bietet ein fallender Körper und ein Beispiel einer verzögerten Bewegung ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper. Das einzige bekannte Beispiel einer gleichförmigen Bewegung ist die Achsendrehung der Erde und wahrscheinlich auch die der übrigen Himmelskörper.

Wenn der Weg eines Körpers eine gerade Linie ist, so behält derselbe beständig dieselbe Richtung bei; beschreibt aber der Körper eine krummlinige Bahn, so nimmt er in jedem folgenden Punkte derselben eine andere Richtung an. Man findet diese für einen bestimmten Punkt einer krummlinigen Bahn, indem man an dieselbe durch diesen Punkt eine Tangente zieht.

Bezeichnen wir bei einer gleichförmigen Bewegung den Weg mit s (spatium), die Zeit mit t (tempus), die Geschwindigkeit mit c (celeritas), so ist:

$$c = \frac{s}{t};\ s = ct;\ t = \frac{s}{c}.$$

Beispiele von (mittleren) Geschwindigkeiten in einer Sekunde.

Geschwindigkeit eines Fußgängers	1,5 m		
" eines Postwagens	2,5 "		
" eines gewöhnlichen Eisenbahnzuges	10 "		
" eines Schnellzuges	15 "		
" eines schnellsegelnden Schiffes	4 "		
" eines schnellen Seedampfers	8 "		
" eines Rennpferdes	12 "		
" einer Brieftaube	30 "		
" der meisten schiffbaren Flüsse	1 "		
" eines mäßigen Windes	5 "		
" eines Sturmwindes	20—40 "		
" des Schalles in der Luft bei 0°	333 "		
" einer Büchsenkugel	500 "		
" einer Granate (der 15 cm Ringkanone)	500 "		
" eines Punktes auf dem Äquator infolge der Achsendrehung der Erde	465 "		
" der Erde in ihrer Bahn	4 Meil.	=	30 km.
" des Lichtes	40 000 "	=	300 000 "

§. 19. Trägheit. Von der Ruhe und der Bewegung der Körper gilt das (von Galilei 1600 aufgestellte) Gesetz: Jeder Körper beharrt so lange im Zustande der Ruhe oder Bewegung, bis er durch irgend eine äußere Ursache hieran verhindert wird. Was zunächst die Ruhe anlangt, so leuchtet uns die Richtigkeit des Satzes sogleich ein. Daß aber auch jeder bewegte Körper das Bestreben hat, den Zustand der Bewegung, den er einmal erlangt hat, beständig beizubehalten, können wir durch keinen Versuch nachweisen, da bei allen auf der Erde bewegten Körpern Widerstand der Luft und Reibung vermindernd auf die Geschwindigkeit derselben einwirken, bis sie zuletzt zur Ruhe kommen. Nur die Bewegungen der Himmelskörper bieten uns Beispiele solcher Bewegungen dar, welche, soweit unsere Erfahrungen reichen, mit unverminderten Geschwindigkeiten fortdauern. Daß aber jeder einmal in Bewegung gebrachte Körper diese Bewegung fortzusetzen

strebt, lehren uns unzählige Erfahrungen: Der Stein in unserer Hand, welchen wir durch Schwingung des Armes in Bewegung setzen, fährt fort sich zu bewegen, auch nachdem unsere Hand ihn losgelassen hat; der Dampfwagen setzt seine Bewegung fort, auch wenn die bewegende Ursache, die Spannkraft des Dampfes, aufgehört hat zu wirken; — gleiches gilt von dem Pfeil, welchen die Elasticität der Sehne, der Kugel, welche die Expansion der Pulverdämpfe im Flintenlaufe in Bewegung setzt u. a. m.

Die hier besprochene Eigenschaft der Körper heißt Trägheit oder Beharrungsvermögen. Jede äußere Ursache aber, welche eine Bewegung hervorruft oder den Bewegungszustand eines Körpers irgendwie ändert, wird Kraft genannt (vgl. §. 2).

Infolge seiner Trägheit hat ein bewegter Körper nicht bloß das Bestreben, seine Geschwindigkeit, sondern auch die Richtung der Bewegung unverändert beizubehalten, also in gerader Linie fortzuschreiten. Kein in Bewegung gesetzter und dann sich selbst überlassener Körper beschreibt eine krummlinige Bahn, wenn er nicht durch fortwährende Einwirkung einer Kraft hierzu genötigt wird; — die geworfenen Körper zieht die Schwere, die Planeten die Anziehung der Sonne von der geraden Linie ab.

Von Erscheinungen, welche auf der Trägheit der Körper beruhen, führen wir noch folgende an: Wenn der Wagen, in welchem wir sitzen, plötzlich anhält, so schwanken wir nach vorn; fährt derselbe plötzlich ab, so schwanken wir nach hinten; — der Hammer oder das Beil wird am Stiele befestigt, wenn man mit dem entgegengesetzten Ende des Stieles gegen eine feste Wand stößt oder auf dasselbe einen Schlag ausübt. — Auch folgende Beispiele gehören hierher: Wenn aus dem Mastkorbe eines schnell segelnden Schiffes ein Stein fällt, so fällt derselbe doch neben dem Maste nieder, obschon das Schiff während des Falles sich fortbewegt hat, weil nämlich der Stein die Bewegung, welche er mit dem ganzen Schiffe teilte, so lange er sich im Mastkorbe befand, auch während des Fallens beibehält. — Ähnliches gilt von den Bällen, welche Kunstreiter auf rasch laufenden Pferden in die Höhe werfen und wieder auffangen.

Über bewegende Kräfte bemerken wir schon vorläufig folgendes: Wenn eine Kraft andauernd auf einen bewegten Körper in der Richtung seiner Bewegung wirkt, so nimmt seine Geschwindigkeit fortwährend zu. Wie groß aber auch die Kraft sein mag, der vorher ruhende Körper beginnt seine Bewegung mit verschwindend kleiner Geschwindigkeit und diese nimmt nur allmählich zu. Umgekehrt: Wenn ein Körper frei beweglich ist, so reicht auch die kleinste Kraft aus, denselben in Bewegung zu setzen. Ruht ein Körper auf einer Unterlage, so ist er nicht frei beweglich; die bewegende Kraft muß dann stark genug sein, um die Reibung zu überwinden.

Der Zug auf der Eisenbahn beginnt seine Bewegung, wie groß auch die Kraft der gespannten Dämpfe der Lokomotive sein mag, mit ganz geringer Geschwindigkeit, und diese nimmt nur allmählich zu, um so rascher, je größer die Spannkraft der Dämpfe ist. Es ist ganz unmöglich, daß der Zug sich sofort mit bedeutender Geschwindigkeit in Bewegung setzt. — Liegt die Bahn horizontal und wirken die Dämpfe mit gleich bleibender Stärke, so leisten dieselben anfangs ein Doppeltes: sie überwinden die der Bewegung entgegenstehenden Hindernisse, Reibung und Widerstand der Luft, und vermehren die Geschwindigkeit des Zuges. Hat diese eine gewisse Größe erreicht, so wird die Dampfkraft nur noch zur Überwindung der der Fortbewegung entgegenstehenden Hindernisse verwendet; der Zug bewegt sich nun lediglich zufolge des Trägheitsgesetzes mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter, ohne daß die Dampfkraft hierzu unmittelbar etwas beiträgt.

Ganz Ähnliches gilt von einem Wagen, welcher auf einer horizontalen Straße von Pferden fortgezogen wird. Soll der Wagen sehr rasch abfahren, d. h. in kurzer Zeit eine bedeutende Geschwindigkeit erlangen, so müssen die Pferde anfangs sehr stark anziehen, wobei es denn geschehen kann, daß zu schwache Stricke reißen, während dieselben gehalten haben würden, wenn die Pferde auch zu Anfang nur mit mäßiger Kraft angezogen hätten. Die Geschwindigkeit, mit welcher überhaupt die Fahrt gemacht werden soll, wäre ebenfalls sehr bald, wenn auch ein wenig später, erreicht worden.

bleibt, heißt gleichförmig; ändert sich aber die Geschwindigkeit, so heißt die Bewegung ungleichförmig. Die ungleichförmige Bewegung kann beschleunigt und verzögert sein. Ein Beispiel einer beschleunigten Bewegung bietet ein fallender Körper und ein Beispiel einer verzögerten Bewegung ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper. Das einzige bekannte Beispiel einer gleichförmigen Bewegung ist die Achsendrehung der Erde und wahrscheinlich auch die der übrigen Himmelskörper.

Wenn der Weg eines Körpers eine gerade Linie ist, so behält derselbe beständig selbe Richtung bei; beschreibt aber der Körper eine krummlinige Bahn, so nimmt in jedem folgenden Punkte derselben eine andere Richtung an. Man findet diese einen bestimmten Punkt einer krummlinigen Bahn, indem man an dieselbe durch en Punkt eine Tangente zieht.

Bezeichnen wir bei einer gleichförmigen Bewegung den Weg mit s (spatium), die Zeit mit t pus), die Geschwindigkeit mit c (celeritas), so ist:

$$c = \frac{s}{t};\ s = ct;\ t = \frac{s}{c}.$$

Beispiele von (mittleren) Geschwindigkeiten in einer Sekunde.

Geschwindigkeit	eines Fußgängers	1,5	m	
„	eines Postwagens	2,5	„	
„	eines gewöhnlichen Eisenbahnzuges	10	„	
„	eines Schnellzuges	15	„	
„	eines schnellsegelnden Schiffes	4	„	
„	eines schnellen Seedampfers	8	„	
„	eines Rennpferdes	12	„	
„	einer Brieftaube	30	„	
„	der meisten schiffbaren Flüsse	1	„	
„	eines mäßigen Windes	5	„	
„	eines Sturmwindes	20—40	„	
„	des Schalles in der Luft bei 0°	333	„	
„	einer Büchsenkugel	500	„	
„	einer Granate (der 15 cm Ringkanone)	500	„	
„	eines Punktes auf dem Äquator infolge der Achsendrehung der Erde	465	„	
„	der Erde in ihrer Bahn	4	Meil.	= 30 km.
„	des Lichtes	40 000	„	= 300 000 „

§. 19. **Trägheit.** Von der Ruhe und der Bewegung der Körper gilt das (von Galilei 1600 aufgestellte) Gesetz: Jeder Körper beharrt so lange im Zustande der Ruhe oder Bewegung, bis er durch irgend eine äußere Ursache hieran verhindert wird. Was zunächst die Ruhe anlangt, so leuchtet uns die Richtigkeit des Satzes sogleich ein. Daß aber auch jeder bewegte Körper das Bestreben hat, den Zustand der Bewegung, den er einmal erlangt hat, beständig beizubehalten, können wir durch keinen Versuch nachweisen, da bei allen auf der Erde bewegten Körpern Widerstand der Luft und Reibung vermindernd auf die Geschwindigkeit derselben einwirken, bis sie zuletzt zur Ruhe kommen. Nur die Bewegungen der Himmelskörper bieten uns Beispiele solcher Bewegungen dar, welche, soweit unsere Erfahrungen reichen, mit unverminderten Geschwindigkeiten fortdauern. [illegible]al in Bewegung gebrachte Körper diese Bewegung fortzusetzen

strebt, lehren uns unzählige Erfahrungen: Der Stein in unserer Hand, welchen wir durch Schwingung des Armes in Bewegung setzen, fährt fort sich zu bewegen, auch nachdem unsere Hand ihn losgelassen hat; der Dampfwagen setzt seine Bewegung fort, auch wenn die bewegende Ursache, die Spannkraft des Dampfes, aufgehört hat zu wirken; — gleiches gilt von dem Pfeil, welchen die Elasticität der Sehne, der Kugel, welche die Expansion der Pulverdämpfe im Flintenlaufe in Bewegung setzt u. a. m.

Die hier besprochene Eigenschaft der Körper heißt Trägheit oder Beharrungsvermögen. Jede äußere Ursache aber, welche eine Bewegung hervorruft oder den Bewegungszustand eines Körpers irgendwie ändert, wird Kraft genannt (vgl. §. 2).

Infolge seiner Trägheit hat ein bewegter Körper nicht bloß das Bestreben, seine Geschwindigkeit, sondern auch die Richtung der Bewegung unverändert beizubehalten, also in gerader Linie fortzuschreiten. Kein in Bewegung gesetzter und dann sich selbst überlassener Körper beschreibt eine krummlinige Bahn, wenn er nicht durch fortwährende Einwirkung einer Kraft hierzu genötigt wird; — die geworfenen Körper zieht die Schwere, die Planeten die Anziehung der Sonne von der geraden Linie ab.

Von Erscheinungen, welche auf der Trägheit der Körper beruhen, führen wir noch folgende an: Wenn der Wagen, in welchem wir sitzen, plötzlich anhält, so schwanken wir nach vorn; fährt derselbe plötzlich ab, so schwanken wir nach hinten; — der Hammer oder das Beil wird am Stiele befestigt, wenn man mit dem entgegengesetzten Ende des Stieles gegen eine feste Wand stößt oder auf dasselbe einen Schlag ausübt. — Auch folgende Beispiele gehören hierher: Wenn aus dem Mastkorbe eines schnell segelnden Schiffes ein Stein fällt, so fällt derselbe doch neben dem Maste nieder, obschon das Schiff während des Falles sich fortbewegt hat, weil nämlich der Stein die Bewegung, welche er mit dem ganzen Schiffe teilte, so lange er sich im Mastkorbe befand, auch während des Fallens beibehält. — Ähnliches gilt von den Bällen, welche Kunstreiter auf rasch laufenden Pferden in die Höhe werfen und wieder auffangen.

Über bewegende Kräfte bemerken wir schon vorläufig folgendes: Wenn eine Kraft andauernd auf einen bewegten Körper in der Richtung seiner Bewegung wirkt, so nimmt seine Geschwindigkeit fortwährend zu. Wie groß aber auch die Kraft sein mag, der vorher ruhende Körper beginnt seine Bewegung mit verschwindend kleiner Geschwindigkeit und diese nimmt nur allmählich zu. Umgekehrt: Wenn ein Körper frei beweglich ist, so reicht auch die kleinste Kraft aus, denselben in Bewegung zu setzen. Ruht ein Körper auf einer Unterlage, so ist er nicht frei beweglich; die bewegende Kraft muß dann stark genug sein, um die Reibung zu überwinden.

Der Zug auf der Eisenbahn beginnt seine Bewegung, wie groß auch die Kraft der gespannten Dämpfe der Lokomotive sein mag, mit ganz geringer Geschwindigkeit, und diese nimmt nur allmählich zu, um so rascher, je größer die Spannkraft der Dämpfe ist. Es ist ganz unmöglich, daß der Zug sich sofort mit bedeutender Geschwindigkeit in Bewegung setzt. — Liegt die Bahn horizontal und wirken die Dämpfe mit gleich bleibender Stärke, so leisten dieselben anfangs ein Doppeltes: sie überwinden die der Bewegung entgegenstehenden Hindernisse, Reibung und Widerstand der Luft, und vermehren die Geschwindigkeit des Zuges. Hat diese eine gewisse Größe erreicht, so wird die Dampfkraft nur noch zur Überwindung der der Fortbewegung entgegenstehenden Hindernisse verwendet; der Zug bewegt sich nun lediglich zufolge des Trägheitsgesetzes mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter, ohne daß die Dampfkraft hierzu unmittelbar etwas beiträgt.

Ganz Ähnliches gilt von einem Wagen, welcher auf einer horizontalen Straße von Pferden fortgezogen wird. Soll der Wagen sehr rasch abfahren, d. h. in kurzer Zeit eine bedeutende Geschwindigkeit erlangen, so müssen die Pferde anfangs sehr stark anziehen, wobei es denn geschehen kann, daß zu schwache Stricke reißen, während dieselben gehalten haben würden, wenn die Pferde auch zu Anfang nur mit mäßiger Kraft angezogen hätten. Die Geschwindigkeit, mit welcher überhaupt die Fahrt gemacht werden soll, wäre ebenfalls sehr bald, wenn auch ein wenig später, erreicht worden.

Wenn ein Faden eben stark genug ist, um ein schweres Gewicht zu tragen, so kann dasselbe an dem Faden von dem Fußboden aufgehoben werden, wenn langsam emporgezogen wird. Der Faden zerreißt dagegen, wenn der Zug mit großer Heftigkeit erfolgt.

Auch das bekannte Kunststück gehört hierher, bei welchem ein Kartenblatt auf die Mündung einer Flasche und auf die Karte gerade über der Mündung ein kleines Geldstück gelegt wird. Wird das Kartenblatt nicht zu rasch fortgezogen, so reicht die Reibung aus, das aufliegende Geldstück fortzubewegen. Wird aber das Kartenblatt horizontal mit Heftigkeit fortgeschnellt, so wirkt die Reibung nur eine äußerst kurze Zeit auf das Geldstück ein, sie erteilt demselben daher auch nur eine ganz geringe Verschiebung und das Geldstück fällt in die Mündung der Flasche.

Bei einem sehr heftigen Stoße kann es geschehen, daß der gestoßene Körper, auch wenn er sehr leicht beweglich ist, eine Trennung seiner Teile erfährt und ein Teil seiner Masse durch den stoßenden Körper mit fortgerissen und von der übrigen Masse in einer so kurzen Zeit getrennt wird, daß dieselbe nicht ausreicht, die Bewegung durch die übrige Masse des Körpers fortzupflanzen. So wird z. B. von einer abgeschossenen Flintenkugel ein aufrecht stehendes Brett, welches durch eine sehr geringe Kraft umgestoßen werden kann, bloß durchbohrt; dieselbe macht in eine Glasscheibe ein rundes Loch und läßt die übrige Scheibe unversehrt, während der schwache Wurf eines kleinen Steines die Scheibe ganz zerschmettert u. dgl. m.

§. 20. Erhaltung der Drehungsebene. Aus dem Trägheitsgesetze erklärt sich auch die Erscheinung, daß ein Körper, welcher sich frei um eine Achse dreht, die Lage derselben beizubehalten strebt und einer Kraft, welche hierin eine Änderung zu bewirken strebt, einen Widerstand entgegensetzt. Bei der Umdrehung beschreiben nämlich alle Teilchen des Körpers Kreise, deren Ebenen auf der Achse senkrecht stehen, und deren Mittelpunkte in die Achse fallen. Zufolge des Trägheitsgesetzes aber hat jedes Teilchen in jedem Punkte des von demselben durchlaufenen Kreises das Bestreben, in der Richtung der Tangente, also in einer geraden Linie fortzugehen, welche in die Ebene dieses Kreises fällt. Dasselbe setzt daher einer Kraft, welche es aus dieser Ebene abzulenken strebt, einen Widerstand entgegen, welcher um so beträchtlicher ist, je rascher die Umdrehung erfolgt. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß eine Scheibe, ein Rad, ein Reifen, auch wenn sie eine etwas schiefe Lage haben, nicht umfallen, solange sie rasch genug dahin rollen. Ebenso beruht auf dem Angeführten die Erscheinung, daß die Achse der Erde bei dem Umlaufe um die Sonne beständig in paralleler Lage fortschreitet. Ähnliches findet bei den übrigen Planeten statt.

(Fig. 8.)



Ein zur Darlegung dieses Princips (von Bohnenberger) konstruierter Apparat (Fig. 8) hat folgende Einrichtung: Eine metallene Kugel ist um eine durch ihren Mittelpunkt (hier in der Figur von links nach rechts) gehende Achse drehbar, welche sich in einem Ringe dreht, der selbst wieder drehbar ist um eine zu jener senkrechte (von vorn nach hinten gerichtete) Achse, die sich ebenfalls in einem Ringe dreht. Dieser letztere Ring ist endlich noch um eine zu beiden vorhergehenden senkrechte (von oben nach unten gehende) Achse drehbar, die sich in einem festen Ringe dreht. Solange die Kugel nicht rotiert, folgt ihre Achse den etwaigen Wendungen, die man mit dem Apparate macht. Hat man aber durch Abziehen einer um die Achse der Kugel gewundenen Schnur diese in rasche Drehung versetzt, so behält die Achse ihre Richtung unverändert bei, wie man auch den Apparat wenden mag.

Zu Versuchen über die Erhaltung der Drehungsebene eignen sich auch ganz vorzüglich recht schwere Metallscheiben, welche um stählerne Achsen leicht drehbar sind. Wird eine solche Scheibe, während man die Achse frei in der Hand hält, durch Abziehen einer aufgewickelten Schnur in rasche Drehung versetzt, so fühlt man deutlich einen Widerstand, sobald man die Richtung der Achse ändert, während derselbe nicht auftritt, wenn man die Achse ihrer Richtung parallel verschiebt.

§. 21, a. Von der Schwere. Alle uns bekannten Körper sind schwer, d. h. sie haben das Bestreben, sich dem Mittelpunkte der Erde zu nähern; werden Körper durch eine Unterlage verhindert, diesem Streben zu folgen, so üben sie einen Druck aus, welchen wir Gewicht nennen. Schwere und Gewicht unterscheiden sich also von einander wie Ursache und Wirkung.

Als Einheit des Gewichtes dient das Gramm (g). Ein Gramm ist das Gewicht eines Kubikcentimeters reinen Wassers im Zustande seiner größten Dichtigkeit (bei 4°, §. 232). Tausend Gramm führen den Namen Kilogramm (kg), ein Milligramm (mg) aber ist der tausendste Teil eines Grammes.

Das Gewicht eines Körpers benutzen wir im gewöhnlichen Leben zugleich als Maß für seine Masse (§. 8). Kaufen wir eine Ware nach dem Gewichte ein, so kommt es uns nicht sowohl auf die Schwere derselben, als vielmehr auf die durch das Gewicht bestimmte Menge des Stoffes an.

Offenbar können wir die Massen zweier Körper durch ihre Gewichte mit einander vergleichen, wenn alle Körper von der Erde gleich stark angezogen werden, da dann die Wirkung dieser Anziehung, welche die Erde auf die einzelnen Stoffteile ausübt, also das Gewicht der Körper, in demselben Verhältnisse zu- oder abnimmt, wie die Menge des Stoffes. — Anders liegt aber die Sache, wenn die Anziehung verschiedene Werte hat. Denken wir uns z. B. einen Körper von der Erde auf die Sonne versetzt, so erleidet derselbe dort eine 28mal stärkere Anziehung als auf der Erde. Er wird also auch auf der Sonne 28mal schwerer sein. Ein Liter (= 1000 ccm) Wasser, welches auf der Erde ein Gewicht von 1 kg besitzt, würde auf der Sonne einen Druck von 28 kg auf seine Unterlage ausüben, also auf der Sonne ebensoviel wiegen, wie 28 Ltr. Wasser auf der Erde. Bei verschieden starker Anziehung würden also gleichen Gewichten sehr ungleiche Massen entsprechen. Thatsächlich erfahren nun alle Körper auf der Erde an ein und demselben Orte eine gleich starke Anziehung (s. §. 40, c). An demselben Orte ist daher die Masse dem Gewichte proportional. Für verschiedene Gegenden der Erde kann die Anziehung zwar ungleiche Größe haben, doch sind die Unterschiede so gering, daß man sie für gewöhnlich vernachlässigen darf.

Die im Deutschen Reiche gültigen Gewichte sind: Gramm, Kilogramm, Milligramm und Tonne (t), welche = 1000 kg ist.

1 t = 1000 kg; 1 kg = 1000 g; 1 g = 1000 mg.

Außerdem dürfen vorläufig auch noch folgende Gewichte Anwendung finden:

1 Pfund (℔) = $1/2$ kg = 500 g; 1 Lot = 10 g; 1 Centner = 100 ℔ = 50 kg.

Wir haben uns die Schwere nicht als eine von dem Mittelpunkte der Erde ausgehende, sondern als eine Kraft zu denken, welche durch die gesamte Anziehung, die alle materiellen Teile der Erde ausüben, hervorgebracht wird; sie ist deshalb nach dem Mittelpunkte gerichtet, weil um diesen die gesamte Masse der Erde gleichförmig verteilt ist.

Über andere Methoden zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten siehe §. 53.

Bezeichnen wir das absolute Gewicht eines Körpers mit a, sein Volumen mit v, sein specifisches Gewicht mit s, so ist: $s = \frac{a}{v}$, $a = vs$, $v = \frac{a}{s}$.

Bezeichnen wir ferner die Dichte eines Körpers mit d, seine Masse mit m, so ist:

$$d = \frac{m}{v}; \quad m = vd; \quad v = \frac{m}{d}.$$

Die Dichten zweier Körper verhalten sich bei gleichen Volumen wie ihre Massen (oder auch Gewichte), bei gleichen Massen umgekehrt wie ihre Volume.

Soll das specifische Gewicht eines festen oder flüssigen Körpers sehr genau bestimmt werden, so hat man auch auf die Temperatur desselben Rücksicht zu nehmen, da sich das Volumen eines jeden Körpers mit der Temperatur mehr oder weniger ändert; doch ist diese Änderung bei den festen und flüssigen Körpern so gering, daß man sie, wo es nicht auf große Genauigkeit ankommt, vernachlässigen kann.

Specifische Gewichte einiger festen und flüssigen Körper.

a) Feste Körper.		Sand- u. Kalkstein	2,5	Salpetersäure	1,5
Platin	21,3	Glas	2,6	Salzsäure	1,2
Gold	19,3	Ebenholz	1,2	Kochsalzlösung	1,2
Blei	11,4	Eichen- u. Buchenholz	0,7	Meerwasser	1,03
Silber	10,4	Tannenholz	0,5	Milch	1,03
Kupfer	8,8	Korkholz	0,24	Oliven-, Rüböl	0,92
Messing	8,5	Eis	0,92	Terpentinöl	0,87
Eisen	7,6			Petroleum	0,80
Zinn	7,2	b) Flüssigkeiten.		Alkohol	0,79
Zink	7,1	Quecksilber	13,6	Äther	0,73
Diamant	3,5	Schwefelsäure	1,8		

§. 22. Das Gravitationsgesetz. Wenn wir uns von der Erde entfernen, so nimmt die Schwere ab und zwar im quadratischen Verhältnisse der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde, d. h. in einem Abstande vom Mittelpunkte, welcher dem 2-, 3fachen Radius gleich ist, ist die Schwere nur der 4., 9. Teil von der Schwere an der Oberfläche der Erde.

Vorstehendes Gesetz ist nur ein besonderer Fall eines allgemeingültigen Naturgesetzes, demzufolge alle Körper der Welt sich gegenseitig anziehen. Diese Anziehung bezeichnet man als allgemeine Schwere oder Gravitation. Dieselbe findet nach dem folgenden von Newton (1680) aufgestellten Gesetze statt:

Die gegenseitige Anziehung zweier Körper steht im direkten Verhältnisse zur Masse der Körper und im umgekehrten Verhältnisse zu dem Quadrate der Entfernung ihrer Mittelpunkte von einander. Wird also die Masse des einen Körpers die 2-, 3fache, so wird auch die anziehende Kraft zwischen beiden die 2-, 3fache; wächst dagegen die Entfernung beider Körper (genauer ihrer Mittelpunkte) auf das 2-, 3fache an, so sinkt die Anziehung auf den 4., 9. Teil; wird die Entfernung die Hälfte oder ein Drittel, so steigt die Anziehung auf das 4- oder 9fache.

Newton hat dieses Gesetz zuerst für die Kraft nachgewiesen, mit welcher die Sonne die Planeten zwingt, sich in krummlinigen Bahnen um dieselbe zu bewegen, sodann auch für die Kraft, mit welcher die Erde den Mond in seiner Bahn erhält. (Genaueres siehe §. 42, b.)

So wie der Mond von der Erde, so wird auch umgekehrt die Erde vom Monde angezogen, wie aus den Erscheinungen der Ebbe und Flut herv[illegible] [illegible]nso werden die Planeten nicht bloß

specifische Gewicht des Wassers = 1, so ist nach dem Obigen das des Bleies = 11, d. h. die Volumeinheit Blei ist 11 mal so schwer als die Volumeinheit Wasser. Ein beliebiges Volumen Blei wiegt demgemäß ebenfalls 11 mal soviel als ein gleiches Volumen Wasser. Hiernach kann man das specifische Gewicht, sofern man nur seinen Verhältniswert in Betracht zieht, auch erklären als die Zahl, welche angiebt, wie vielmal so schwer ein beliebiges Volumen des Körpers ist, als ein gleiches Volumen Wasser. Dieser Verhältniswert und das Gewicht der Volumeinheit werden, wenn man bei letzterem, wie oben, Kubikcentimeter und Gramm anwendet, durch die nämliche Zahl ausgedrückt.

Im Gegensatze zu dem specifischen Gewichte bezeichnet man den Druck, welchen ein Körper auf seine Unterlage ausübt, als absolutes Gewicht.

Durch Vergleichung der Masse eines Körpers mit seinem Volumen gelangt man zu dem Begriffe der Dichtigkeit oder Dichte. Die Dichte eines Körpers ist die Masse der Volumeinheit. Da die Masse eines Körpers seinem Gewichte proportional ist (an demselben Orte, s. d. vorig. §.), so ist auch die Dichte proportional dem specifischen Gewichte. Gewöhnlich giebt man auch bei der Dichte nur den Verhältniswert an, indem man die Dichte eines bestimmten Körpers als Einheit nimmt. Geht man dabei von dem nämlichen Körper aus wie bei dem specifischen Gewichte, setzt also die Dichte des Wassers = 1, so werden Dichte und specifisches Gewicht durch die nämliche Zahl dargestellt. So ist z. B. ein Stück Blei nicht nur 11 mal so schwer als ein gleiches Volumen Wasser, sondern auch 11 mal so dicht, enthält 11 mal soviel Masse.

Das größte specifische Gewicht unter den bekannteren Körpern besitzt das Platin, welches über 21 mal schwerer als Wasser ist; unter den Flüssigkeiten aber ist am schwersten das Quecksilber, welches 13,6 mal so viel als Wasser wiegt. — Über das specifische Gewicht der gasförmigen Körper siehe §. 74.

Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes eines Körpers muß man einerseits das absolute Gewicht desselben, andererseits sein Volumen oder das Gewicht einer gleichen Raummenge Wasser ermitteln. Werden hierbei das Kubikcentimeter und das Gramm als Einheiten angewendet, so kommt die Aufsuchung des Körpervolumens und des Gewichtes einer gleichen Raummenge Wasser auf dasselbe hinaus; denn da 1 ccm Wasser 1 g wiegt, so werden Gewicht und Volumen einer beliebigen Wassermenge durch dieselbe Zahl ausgedrückt.

Um das specifische Gewicht eines festen Körpers zu bestimmen, könnte man etwa auf die Weise verfahren, daß man ihm eine Gestalt giebt, die sich berechnen läßt, etwa die eines Würfels. Es habe z. B. ein Würfel aus Eisen eine Kante von 3 cm und ein Gewicht von 205 g; der Inhalt beträgt dann $3^3 = 27$ ccm; mithin wiegt 1 ccm $205 : 27 = 7,6$ g. — Bei einem beliebig gestalteten Körper läßt sich das Gewicht einer gleichen Raummenge Wasser (oder das Volumen) dadurch ermitteln, daß man den Körper in ein mit Wasser angefülltes Gefäß eintaucht und hierbei die Menge des von dem Körper verdrängten Wassers abmißt. — Über ein weit schärferes Verfahren siehe §. 53.

Das specifische Gewicht einer Flüssigkeit kann man genau finden, indem man sich eines Fläschchens mit aufgeschliffenem gläsernen Deckel bedient. Man bestimmt zunächst das Gewicht des leeren Fläschchens und dann das Gewicht des Fläschchens, nachdem man dasselbe einmal mit Wasser, das andere Mal mit der betreffenden Flüssigkeit, z. B. Spiritus, gefüllt hat. Bringt man nun beidemal das Gewicht des Fläschchens in Abrechnung, so hat man die Gewichte gleicher Volume Wasser und Spiritus. — Gewöhnlich wendet man ein Fläschchen an, welches genau 100 g Wasser faßt. Wiegt dann der das Fläschchen füllende Spiritus z. B. 79 g, so ist das specifische Gewicht desselben $79 : 100 = 0,79$.

2*

Zweiter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen fester Körper.

§. 23. Von den Kräften im allgemeinen. Zufolge §. 19 wird jede Bewegung sowie jede Bewegungsänderung durch eine äußere Ursache hervorgerufen, welche wir Kraft nennen. — Man unterscheidet bewegende Kräfte, wie die Dampfkraft in der Lokomotive, welche den Zug in Bewegung setzen und seine Bewegung fortdauernd beschleunigen kann, und widerstehende Kräfte, gewöhnlich Widerstände oder Hindernisse genannt, wie die Reibung der Räder an den Schienen und Achsen, welche den Zug zum Stehen bringt, wenn die Dampfkraft aufgehört hat zu wirken.

Eine jede Kraft, welche an und für sich eine Bewegung hervorbringen würde, kann durch einen Widerstand daran gehindert werden. Ihre Wirkung besteht alsdann in einem Druck oder Zug, wie z. B. in dem Falle, wo ein schwerer Körper auf einer Unterlage ruht oder an einem Faden aufgehängt ist.

Wollen wir die Kräfte hinsichtlich ihrer Größe miteinander vergleichen, so müssen wir, da wir sie selbst nicht wahrzunehmen vermögen, sondern auf ihr Vorhandensein nur aus ihren Wirkungen schließen, nach diesen die Größe beurteilen, indem wir eine bestimmte Wirkung als Einheit nehmen. Da nun die Wirkung einer Kraft nach dem Vorhergehenden einerseits in einer Bewegung, andererseits in einem Druck oder Zug bestehen kann, so läßt sich die eine wie die andere Wirkung zur Feststellung einer Einheit benutzen. Als Einheit des Druckes dient das Kilogramm [illegible] indem alle Druckkräfte mit dem Druck verglichen werden können, welchen [illegible] infolge seiner Schwere auf eine Unterlage ausübt. Wenn man z. B. eine [illegible] das eine Mal mit der Hand zusammendrückt, ein anderes Mal die gleiche [illegible] durch ein aufgelegtes Gewicht bewirkt, so hat man offenbar mit [illegible] Druck von der Größe des aufgelegten Gewichtes ausgeübt. Gleiches [illegible] Ausdruck der Spiralfeder. — Von dem Maße bewegender Kräfte [illegible] behandelt werden.

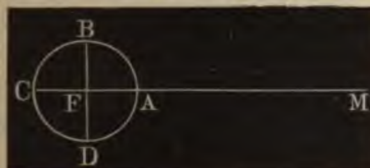
[illegible] bei näherer Bestimmung einer Kraft auch noch die [illegible] wirkt und der Punkt, in welchem sie angreift, ihr [illegible] — Sowohl hinsichtlich ihrer Größe als auch ihrer [illegible] anschaulich geometrisch durch gerade Linien darstellen, [illegible] als Einheit der Kraft annimmt. Der eine Endpunkt [illegible]

von der Sonne angezogen; sie ziehen auch ihrerseits diese und sich gegenseitig unter einander an. Vermöge dieser letzteren Anziehungen sind die Bahnen, welche die Planeten um die Sonne beschreiben, keine vollkommenen Ellipsen, sondern weichen etwas von dieser Gestalt ab. Diese Abweichungen aber lehren, daß die gegenseitigen Anziehungen der Planeten ebenfalls dem Newton'schen Gravitationsgesetze gemäß erfolgen. (Siehe auch §. 295.)

Nach Newton haben verschiedene Physiker das Gesetz auch für die Körper auf der Erde nachgewiesen. Sehr sorgfältig angestellte Versuche, bei welchen man ein Pendel (§. 40) zu beiden Seiten eines Berges aufhing, haben gezeigt, daß das Pendel ein wenig von der Richtung nach dem Mittelpunkte der Erde gegen die Masse des Berges hin abgelenkt wurde. — Beobachtungen an Pendeln und sehr feine Wägungen haben ferner die Anziehung größerer Metallmassen, sowie auch die angegebene Abhängigkeit der Schwere von der Entfernung der Körper vom Mittelpunkte der Erde dargethan.

Daß die Erscheinung der Ebbe und Flut, das zweimalige tägliche Steigen und Fallen des Meeres, durch die Anziehung des Mondes bewirkt wird, dafür spricht schon die Übereinstimmung des Verlaufs dieser Erscheinung mit dem täglichen (scheinbaren) Laufe des Mondes. Die Flut steigt nämlich am höchsten, wenn der Mond seinen höchsten Stand über dem Horizonte, und demnächst ungefähr 12 Stunden später, nachdem derselbe seinen tiefsten Stand unter dem Horizonte erreicht hat. Der tiefste Stand des Meeres bei der Ebbe fällt jedesmal in die Mitte zwischen den höchsten Ständen zweier auf einander folgenden Fluten. Die Erklärung ist kurz folgende: Ist M (Fig. 9) der Mittelpunkt des Mondes, F der Mittelpunkt der Erde und ABCD ein durch diese Punkte gehender Durchschnitt derselben, so wird offenbar der Punkt A, welcher dem Monde am nächsten liegt, stärker, der Punkt C, welcher von dem Monde am weitesten entfernt ist, schwächer angezogen als der Mittelpunkt F. Denken wir uns nun die ganze übrige Erdmasse weg und nur die 3 Punkte A, F, C übrig bleibend, so wird A mit größerer, C mit geringerer Beschleunigung gegen den Mond hin bewegt werden als der Mittelpunkt F und daher sich der gegenseitige Abstand der 3 Punkte vergrößern. Ähnliches wird auch dann eintreten, wenn die Erde an ihrer Oberfläche mit einer Wasserschicht umgeben ist. Das Wasser wird in A und C sich vom Mittelpunkte F entfernen, also steigen und infolge hiervon bei B und D fallen. Diejenigen Gegenden, für welche der Mond im Zenith und Nadir steht, werden also Flut, und diejenigen, welche ihn im Horizonte erblicken, werden Ebbe haben.

(Fig. 9.)



Obschon die Erde viel stärker von der Sonne als vom Monde angezogen wird, so übt doch die Sonne auf die Erscheinungen der Ebbe und Flut einen bei weitem geringeren Einfluß aus als der Mond, indem es sich hierbei zufolge der vorhergehenden Darstellung nicht sowohl um die Größe der anziehenden Kraft als vielmehr um den Unterschied handelt, mit welchem die dem Monde oder der Sonne näheren und ferneren Teile der Erde angezogen werden. Dieser Unterschied ist aber bei dem von der Erde nur um 60 Erdhalbmesser entfernten Monde viel beträchtlicher als bei der so überaus weit entfernten Sonne.

Ausführlicher handelt von der Erscheinung der Ebbe und Flut des Verfassers „Mathematische Geographie. 3. Aufl. Essen, 1889", §. 42.

bleibt, heißt gleichförmig; ändert sich aber die Geschwindigkeit, so heißt die Bewegung ungleichförmig. Die ungleichförmige Bewegung kann beschleunigt und verzögert sein. Ein Beispiel einer beschleunigten Bewegung bietet ein fallender Körper und ein Beispiel einer verzögerten Bewegung ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper. Das einzige bekannte Beispiel einer gleichförmigen Bewegung ist die Achsendrehung der Erde und wahrscheinlich auch die der übrigen Himmelskörper.

Wenn der Weg eines Körpers eine gerade Linie ist, so behält derselbe beständig selbe Richtung bei; beschreibt aber der Körper eine krummlinige Bahn, so nimmt in jedem folgenden Punkte derselben eine andere Richtung an. Man findet diese einen bestimmten Punkt einer krummlinigen Bahn, indem man an dieselbe durch en Punkt eine Tangente zieht.

Bezeichnen wir bei einer gleichförmigen Bewegung den Weg mit s (spatium), die Zeit mit t pus), die Geschwindigkeit mit c (celeritas), so ist:

$$c = \frac{s}{t};\ s = ct;\ t = \frac{s}{c}.$$

Beispiele von (mittleren) Geschwindigkeiten in einer Sekunde.

Geschwindigkeit eines Fußgängers	1,5 m		
„ eines Postwagens	2,5 „		
„ eines gewöhnlichen Eisenbahnzuges	10 „		
„ eines Schnellzuges	15 „		
„ eines schnellsegelnden Schiffes	4 „		
„ eines schnellen Seedampfers	8 „		
„ eines Rennpferdes	12 „		
„ einer Brieftaube	30 „		
„ der meisten schiffbaren Flüsse	1 „		
„ eines mäßigen Windes	5 „		
„ eines Sturmwindes	20—40 „		
„ des Schalles in der Luft bei 0°	333 „		
„ einer Büchsenkugel	500 „		
„ einer Granate (der 15 cm Ringkanone)	500 „		
„ eines Punktes auf dem Äquator infolge der Achsendrehung der Erde	465 „		
„ der Erde in ihrer Bahn	4 Meil.	=	30 km.
„ des Lichtes	40 000 „	=	300 000 „

§. 19. **Trägheit.** Von der Ruhe und der Bewegung der Körper gilt das (von Galilei 1600 aufgestellte) Gesetz: Jeder Körper beharrt so lange im Zustande der Ruhe oder Bewegung, bis er durch irgend eine äußere Ursache hieran verhindert wird. Was zunächst die Ruhe anlangt, so leuchtet uns die Richtigkeit des Satzes sogleich ein. Daß aber auch jeder bewegte Körper das Bestreben hat, den Zustand der Bewegung, den er einmal erlangt hat, beständig beizubehalten, können wir durch keinen Versuch nachweisen, da bei allen auf der Erde bewegten Körpern Widerstand der Luft und Reibung vermindernd auf die Geschwindigkeit derselben einwirken, bis sie zuletzt zur Ruhe kommen. Nur die Bewegungen der Himmelskörper bieten uns Beispiele solcher Bewegungen dar, welche, soweit unsere Erfahrungen reichen, mit unverminderten Geschwindigkeiten fortdauern. ...l in Bewegung gebrachte Körper diese Bewegung fortzusetzen

strebt, lehren uns unzählige Erfahrungen: Der Stein in unserer Hand, welchen wir durch Schwingung des Armes in Bewegung setzen, fährt fort sich zu bewegen, auch nachdem unsere Hand ihn losgelassen hat; der Dampfwagen setzt seine Bewegung fort, auch wenn die bewegende Ursache, die Spannkraft des Dampfes, aufgehört hat zu wirken; — gleiches gilt von dem Pfeil, welchen die Elasticität der Sehne, der Kugel, welche die Expansion der Pulverdämpfe im Flintenlaufe in Bewegung setzt u. a. m.

Die hier besprochene Eigenschaft der Körper heißt Trägheit oder Beharrungsvermögen. Jede äußere Ursache aber, welche eine Bewegung hervorruft oder den Bewegungszustand eines Körpers irgendwie ändert, wird Kraft genannt (vgl. §. 2).

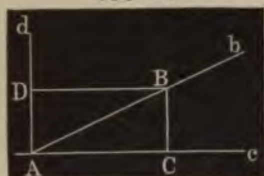
Infolge seiner Trägheit hat ein bewegter Körper nicht bloß das Bestreben, seine Geschwindigkeit, sondern auch die Richtung der Bewegung unverändert beizubehalten, also in gerader Linie fortzuschreiten. Kein in Bewegung gesetzter und dann sich selbst überlassener Körper beschreibt eine krummlinige Bahn, wenn er nicht durch fortwährende Einwirkung einer Kraft hierzu genötigt wird; — die geworfenen Körper zieht die Schwere, die Planeten die Anziehung der Sonne von der geraden Linie ab.

Von Erscheinungen, welche auf der Trägheit der Körper beruhen, führen wir noch folgende an: Wenn der Wagen, in welchem wir sitzen, plötzlich anhält, so schwanken wir nach vorn; fährt derselbe plötzlich ab, so schwanken wir nach hinten; — der Hammer oder das Beil wird am Stiele befestigt, wenn man mit dem entgegengesetzten Ende des Stieles gegen eine feste Wand stößt oder auf dasselbe einen Schlag ausübt. — Auch folgende Beispiele gehören hierher: Wenn aus dem Mastkorbe eines schnell segelnden Schiffes ein Stein fällt, so fällt derselbe doch neben dem Maste nieder, obschon das Schiff während des Falles sich fortbewegt hat, weil nämlich der Stein die Bewegung, welche er mit dem ganzen Schiffe teilte, so lange er sich im Mastkorbe befand, auch während des Fallens beibehält. — Ähnliches gilt von den Bällen, welche Kunstreiter auf rasch laufenden Pferden in die Höhe werfen und wieder auffangen.

Über bewegende Kräfte bemerken wir schon vorläufig folgendes: Wenn eine Kraft andauernd auf einen bewegten Körper in der Richtung seiner Bewegung wirkt, so nimmt seine Geschwindigkeit fortwährend zu. Wie groß aber auch die Kraft sein mag, der vorher ruhende Körper beginnt seine Bewegung mit verschwindend kleiner Geschwindigkeit und diese nimmt nur allmählich zu. Umgekehrt: Wenn ein Körper frei beweglich ist, so reicht auch die kleinste Kraft aus, denselben in Bewegung zu setzen. Ruht ein Körper auf einer Unterlage, so ist er nicht frei beweglich; die bewegende Kraft muß dann stark genug sein, um die Reibung zu überwinden.

Der Zug auf der Eisenbahn beginnt seine Bewegung, wie groß auch die Kraft der gespannten Dämpfe der Lokomotive sein mag, mit ganz geringer Geschwindigkeit, und diese nimmt nur allmählich zu, um so rascher, je größer die Spannkraft der Dämpfe ist. Es ist ganz unmöglich, daß der Zug sich sofort mit bedeutender Geschwindigkeit in Bewegung setzt. — Liegt die Bahn horizontal und wirken die Dämpfe mit gleich bleibender Stärke, so leisten dieselben anfangs ein Doppeltes: sie überwinden die der Bewegung entgegenstehenden Hindernisse, Reibung und Widerstand der Luft, und vermehren die Geschwindigkeit des Zuges. Hat diese eine gewisse Größe erreicht, so wird die Dampfkraft nur noch zur Überwindung der der Fortbewegung entgegenstehenden Hindernisse verwendet; der Zug bewegt sich nun lediglich zufolge des Trägheitsgesetzes mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter, ohne daß die Dampfkraft hierzu unmittelbar etwas beiträgt.

Ganz Ähnliches gilt von einem Wagen, welcher auf einer horizontalen Straße von Pferden fortgezogen wird. Soll der Wagen sehr rasch abfahren, d. h. in kurzer Zeit eine bedeutende Geschwindigkeit erlangen, so müssen die Pferde anfangs sehr stark anziehen, wobei es denn geschehen kann, daß zu schwache Stricke reißen, während dieselben gehalten haben würden, wenn die Pferde auch zu Anfang nur mit mäßiger Kraft angezogen hätten. Die Geschwindigkeit, mit welcher überhaupt die Fahrt gemacht werden soll, wäre ebenfalls sehr bald, wenn auch ein wenig später, erreicht worden.

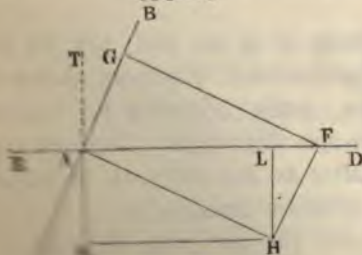


(Fig. 16.)

an einer Leine Ab durch den Zug eines am Ufer gehenden Pferdes fortbewegt wird; ein im Schiffe stehender Ruderer bewirkt durch eine in der Richtung Ad ausgeübte Kraft, daß das Schiff nicht gegen das Ufer hingetrieben wird, sondern der Richtung des Flusses Ac folgt. Es leuchtet ein, daß hier nur ein Teil der von dem Pferde ausgeübten Kraft für die Fortbewegung des Schiffes zur Geltung kommt. Um diesen Teil zu finden, drücken wir die Kraft, welche das Pferd wirklich ausübt, durch AB aus und zerfällen dieselbe in die beiden Seitenkräfte AC und AD, indem wir BD ‖ Ac und BC ‖ Ad ziehen. AC giebt dann die Kraft an, mit welcher das Schiff wirklich fortbewegt wird, AD aber die Kraft, welche der Ruderer anzuwenden hat, damit das Schiff nicht seitwärts gegen das Ufer getrieben wird. — Wie in dem angeführten Beispiele, so geht allemal an Kraft verloren, wenn der Körper gezwungen ist, sich in einer Richtung zu bewegen, welche von derjenigen der Kraft abweicht.

2) Eine Kraft kann auf eine Fläche einen Druck niemals anders als in senkrechter Richtung hervorbringen. Der Druck, welchen eine schief wirkende Kraft ausübt, ist daher immer nur einem Teile derselben gleich, welcher sich auf folgende Art finden läßt: Es sei Ac (Fig. 16) eine ebene Fläche, BA eine schief wirkende Kraft. Zerlegen wir dieselbe nun in die beiden Seitenkräfte AC und AD, von denen AC der Fläche parallel und AD auf derselben senkrecht ist, so zeigt AD den wirklich ausgeübten Druck an. Derselbe fällt um so größer aus, je größer der Neigungswinkel BAC ist; er ist der vollen Kraft BA gleich, wenn diese auf der Fläche Ac senkrecht steht. — Auf die angegebene Art läßt sich z. B. der Druck bestimmen, welchen die Strömung des Wassers auf ein schief gestelltes Steuerruder, der Wind auf ein schief gestelltes Segel oder auf die Flügel einer Windmühle ausübt. AC mißt dann die Kraft, mit welcher das Wasser oder die Luft längs der Fläche Ac fortbewegt wird.

Die Flügel einer Windmühle sind an der Drehungsachse so angebracht, daß ihre Ebenen mit derselben schiefe Winkel bilden, und da die Achse in die Richtung des Windes gestellt wird, so trifft dieser die Flügel in schiefer Richtung. Wird dabei z. B. der senkrecht in die Höhe gerichtete Flügel vom Winde nach der rechten Seite hin gedrückt, so erleidet der nach unten gerichtete Flügel einen Druck nach der linken Seite, so daß beide die Achse in demselben Sinne zu drehen streben. — Es



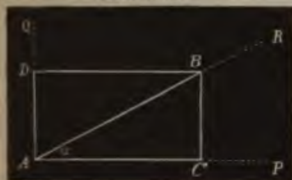
(Fig. 17.)

durchschneide nun eine wagerechte oberhalb der Achse gelegte Ebene den senkrecht in die Höhe gerichteten Flügel in BC, (Fig. 17); diese Ebene selbst aber werde von einer durch die Achse gelegten vertikalen Ebene in DE und von einer durch den Punkt A gehenden und zur Achse senkrechten Ebene in KT durchschnitten, so daß also BC, DE, KT sämtlich in der nämlichen wagerechten Ebene liegen und die Drehungsachse der Flügel unterhalb dieser Ebene und zwar gerade unter DE liegt; dann zeigt DE, da sie der Achse parallel ist, die Richtung des Windes an, KT aber ist eine Tangente des Kreises, welchen der Punkt A bei der Umdrehung des Flügels be[illegible] Richtung an, in welcher allein der Punkt A sich bewegen kann. Wenn [illegible] FA darst[illegible] ‖ BC, FG und AH aber ⊥ BC ziehen, so

giebt HA den von dem Winde ausgeübten Druck an. Weil aber der Punkt A sich nur in der Richtung AT bewegen kann, so zerlegen wir HA nochmals in zwei Seitenkräfte, indem wir HK || AD und HL || AK ziehen; dann ist KA die Kraft, mit welcher der Wind von der Stärke FA den Flügel wirklich antreibt, sich zu drehen.

Wenn wir uns ferner über AF als Durchmesser einen Halbkreis beschrieben denken, so muß dieser durch den Punkt H gehen, da der Winkel AHF ein rechter ist. Es ist daher LH und also auch AK dann am größten, wenn der Punkt L in den Mittelpunkt des Halbkreises fällt und folglich LH = AL, also Winkel LAH = 45⁰ = LAG ist. Die größte Wirkung wird hiernach erzielt, wenn die Flügel mit der Drehungsachse Winkel von 45⁰ bilden.

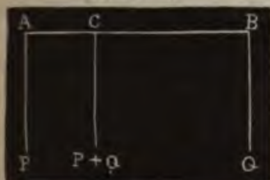
(Fig. 18.)



Wenn eine Kraft AB = R (Fig. 18) in zwei aufeinander senkrechte Seitenkräfte AC = P und AD = Q zerfällt wird und Winkel BAC = α ist, so ist P = R cos α und Q = R sin α.

§. 25. Zusammensetzung und Zerlegung paralleler Kräfte. Wirken auf verschiedene Punkte eines festen Körpers zwei parallele Kräfte P und Q (Fig. 19) nach derselben Seite hin, so ist die Resultierende gleich der Summe dieser Kräfte P + Q, und der Angriffspunkt derselben C teilt die Entfernung AB der Angriffspunkte der gegebenen Kräfte in zwei Stücke AC und BC, welche sich umgekehrt wie die gegebenen Kräfte verhalten, also

(Fig. 19.)



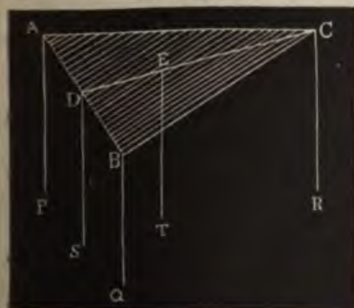
$$AC : BC = Q : P.$$

Der Punkt C liegt folglich, wenn die Kräfte P und Q gleich sind, in der Mitte zwischen A und B; er liegt dagegen, wenn die Kräfte ungleich sind, näher bei der größeren, also näher bei P, wenn P größer als Q ist.

Man nennt diesen Punkt C, in welchem die Richtung der Resultierenden die Verbindungslinie AB der Angriffspunkte A und B der gegebenen Kräfte durchschneidet, den Mittelpunkt der beiden parallelen Kräfte.

Umgekehrt läßt sich die Mittelkraft P + Q durch die derselben parallelen Seitenkräfte P und Q ersetzen. Diese sind einander gleich, wenn AC = BC ist; ist aber AC kleiner als BC, so ist P in dem Verhältnisse größer als Q, in welchem AC kleiner als BC ist. — Wenn z. B. zwei Menschen an den Enden einer Stange AB, (von deren Gewicht wir hier absehen), eine in C aufgehängte Last tragen, so hat derjenige den größern Teil zu tragen, welchem die Last am nächsten ist.

(Fig. 20.)



Wirken auf einen festen Körper drei parallele Kräfte, z. B. in den Punkten A, B und C (Fig. 20) die Kräfte P = 3, Q = 4 und R = 5, so lassen sich zunächst zwei derselben, P und Q, in eine Resultierende S = P + Q = 7 vereinigen; und man findet den Mittelpunkt D dieser Kraft, wenn man die Linie AB in D so teilt, daß sich AD : DB = Q : P = 4 : 3 verhält. — Wenn man nun die Kraft S mit

der Kraft R zu einer Resultierenden $T = S + R = 12$ verbindet und, um den Angriffspunkt E derselben zu finden, die Linie CD in E so teilt, daß sich $CE : DE = S : R = 7 : 5$ verhält, so wird die in E angebrachte Kraft $T = 12$ das nämliche bewirken, wie die drei parallelen Kräfte P, Q und R zusammen. Der Punkt E heißt der Mittelpunkt dieser Kräfte.

Man sieht hiernach leicht, wie man zu verfahren hätte, wenn die Resultierende und der Mittelpunkt für 4 und mehr parallele Kräfte gefunden werden sollte.

Um aus dem Gesetze vom Parallelogramm der Kräfte den Satz über die Zusammensetzung zweier parallelen Kräfte herzuleiten, schicken wir folgende Grundsätze voraus:

1) Die Wirkung eines Systems von Kräften wird nicht geändert, wenn man zu denselben beliebig viel Kräfte derart hinzufügt, daß sich letztere gegenseitig aufheben.

2) Die Wirkung einer Kraft wird nicht geändert, in welchen Punkt ihrer Richtung man auch ihren Angriffspunkt verlegt.

Wir bringen nun, um für die beiden parallelen Kräfte P und Q, welche durch AD und BE (Fig. 21) dargestellt sein mögen, Resultierende wie Mittelpunkt zu bestimmen, in A und B zwei weitere Kräfte $S_1 = AF$ und $S_2 = BG$ an, welche einander gleich und entgegengerichtet sind, sich also gegenseitig aufheben. Dann wirken nach Grundsatz 1 die vier Kräfte P, Q, S_1 und S_2 genau ebenso wie die Kräfte P und Q allein. Vereinigen wir nun mittelst der Parallelogramme ADHF und BGKE einerseits die Kräfte P und S_1 zu der Mittelkraft $T_1 = AH$, andrerseits die Kräfte Q und S_2 zu der Mittelkraft $T_2 = BK$ und verlegen nach Grundsatz 2 die Angriffspunkte der Kräfte T_1 und T_2 nach dem Punkte L, in welchem sich die Richtungen derselben rückwärts verlängert schneiden, so können wir die beiden Kräfte T_1 und T_2 abermals zu einer Resultierenden R vereinigen, welche dann auch die Resultierende der beiden Kräfte P und Q bilden muß. Zu dem Zwecke machen wir $Lh = AH$, $Lk = BK$ und zerlegen, indem wir $Lf \# AF$, $Ld \# AD$, $Lg \# BG$, $Le \# BE$ machen, die Kräfte T_1 und T_2 wieder in diejenigen Seitenkräfte, aus welchen dieselben ursprünglich gebildet sind. Dann heben die Kräfte Lf und Lg, weil gleich und entgegengerichtet, einander auf, während die beiden Kräfte Ld und Le nach derselben Richtung wirken, sich also addieren; mithin ist die Resultierende $R = Ld + Le = P + Q$.

(Fig. 21.)

Ferner folgt aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ACL und hdL, daß sich

$$AC : hd = LC : Ld$$

und aus der Ähnlichkeit der Dreiecke BCL und keL, daß sich

$$BC : ek = LC : Le$$

verhält. Dividieren wir beide Proportionen durch einander, so ergiebt sich, da $hd = ek$ ist,

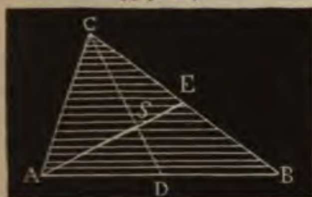
$$AC : BC = Le : Ld = Q : P.$$

§. 26, a. **Schwerpunkt.** Von der Wirkung paralleler Kräfte liefert die Natur in der Anziehung, welche von der Erde auf die materiellen Teile eines jeden auf derselben befindlichen Körpers ausgeübt wird, selbst ein Beispiel. Die Richtungen dieser anziehenden Kräfte konvergieren zwar genau genommen nach dem Mittelpunkte der Erde (s. §. 21, a); doch dürfen wir bei der großen Entfernung dieses Punktes von der Erdoberfläche die auf die einzelnen Teilchen eines Körpers wirkenden Anziehungen als parallel wirkende Kräfte betrachten. Diese Kräfte vereinigen

zu einer Resultierenden, deren Angriffspunkt der Schwerpunkt des Körpers genannt wird. Aus dem Gesagten folgt, daß man sich im Schwerpunkte die ganze Masse des Körpers vereinigt denken kann, und daß daher ein Körper nur so lange ruht, als sein Schwerpunkt unterstützt ist.

Der Schwerpunkt einer Kugel, in welcher die Masse gleichförmig verteilt ist, liegt offenbar im Mittelpunkte derselben, der Schwerpunkt eines gleichförmigen Stabes in dessen Mitte. Der Schwerpunkt eines materiellen Dreiecks (eines dreieckigen Brettes) ABC (Fig. 22) wird gefunden, wenn man die Mitten zweier Seiten D und E mit den gegenüberliegenden Ecken C und A verbindet. Der Durchschnittspunkt S dieser Verbindungslinien ist der gesuchte Schwerpunkt. Denn wenn man sich das Dreieck ABC durch Linien parallel zu AB in sehr schmale Streifen geteilt denkt, so werden diese Streifen sämtlich durch CD halbiert. In der Linie CD müssen daher die Schwerpunkte aller Streifen und folglich auch der Schwerpunkt des Dreiecks liegen. Ebenso findet man, daß derselbe in der Linie AE liegt. Er muß folglich im Durchschnittspunkte S liegen. Der Punkt S ist doppelt so weit von der Spitze als von der Grundlinie entfernt ($DS = \frac{1}{2} CS$*).

(Fig. 22.)



Um den Schwerpunkt eines Vierecks zu bestimmen, zerschneiden wir dasselbe durch eine Diagonale in zwei Dreiecke und verbinden die Schwerpunkte derselben, dann liefert uns diese Verbindung eine Linie (Schwerlinie), auf welcher der Schwerpunkt des Vierecks liegen muß. Ziehen wir darauf die zweite Diagonale und verbinden die Schwerpunkte der dadurch erhaltenen Dreiecke, so gelangen wir zu einem zweiten geometrischen Orte für den gesuchten Punkt. Letzterer liegt also da, wo sich die beiden genannten Schwerlinien schneiden. — Auf entsprechende Weise läßt sich der Schwerpunkt eines beliebigen Vielecks bestimmen.

Der Schwerpunkt eines Kreises oder eines kreisförmigen Ringes liegt im Mittelpunkte desselben, der Schwerpunkt eines Parallelogramms im Durchschnittspunkte der beiden Diagonalen.

Der Schwerpunkt eines Prismas fällt in die Mitte der Linie, welche die Schwerpunkte der beiden Grundflächen verbindet.

Der Schwerpunkt einer Pyramide liegt in der Linie, welche die Spitze mit dem Schwerpunkte der Grundfläche verbindet, und ist von der Spitze dreimal so weit als von der Grundfläche entfernt. — Dieses gilt ebenso vom Kegel.

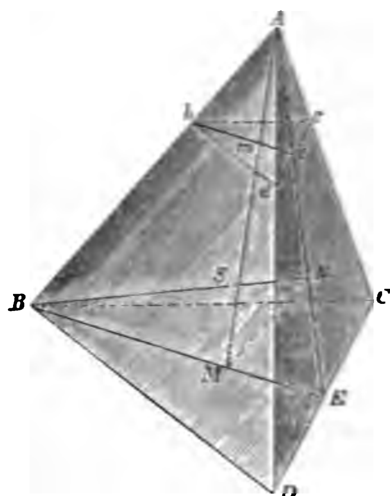
Der Schwerpunkt eines Cylinders liegt in der Mitte seiner Achse.

Da alle eckigen Körper sich in Pyramiden zerfällen lassen, so ist man durch das Vorhergehende in den Stand gesetzt, ihre Schwerpunkte auf theoretischem Wege zu bestimmen.

Praktisch wird der Schwerpunkt eines Körpers gefunden, wenn man denselben an zwei beliebigen Stellen an einem Faden aufhängt. Da der Schwerpunkt, wenn der Körper zur Ruhe gekommen ist, jedesmal in der verlängerten Richtung des Fadens liegt, so schneiden sich diese Verlängerungen in dem gesuchten Schwerpunkte.

---

*) Vergl. Planimetrie, §. 269.



Über die interessanten Bestimmungen des Schwerpunktes fügen wir noch folgendes hinzu:

Um den Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide ABCD (Fig. 23) zu finden, halbiert man eine Seitenkante CD im Punkte E, verbindet diesen Punkt mit den gegenüberliegenden Ecken A und B, teilt die Verbindungslinien AE und BE in den Punkten M und N so, daß $ME = \frac{1}{3} BE$, $NE = \frac{1}{3} AE$ ist, und verbindet M und N mit A und B. Dann ist der Durchschnittspunkt S dieser Verbindungslinien der gesuchte Schwerpunkt der Pyramide ABCD. — Denn wenn wir die Pyramide mit einer der Grundfläche BCD parallelen Ebene bcd durchschneiden, welche von AE und AM in e und m getroffen wird, so ist ce = de und $me = \frac{1}{3} be$, folglich m der Schwerpunkt des Dreiecks bcd. Denken wir uns daher die Pyramide in unendlich viele, unendlich dünne, mit der Grundfläche BCD parallele Schichten zerschnitten, so fallen die Schwerpunkte dieser sämtlichen Schichten in die Linie AM, in welcher daher auch der Schwerpunkt der ganzen Pyramide enthalten sein muß. Da nun aus gleichen Gründen der Schwerpunkt der Pyramide auch auf der Linie BN liegen muß, so muß derselbe folglich in den Punkt S fallen, in welchem sich AM und BN durchschneiden. — Verbinden wir noch die Punkte M und N, so ist MN ∥ AB und folglich △ MNS ∼ ABS; daher verhält sich MS : AS = MN : AB = EM : EB = 1 : 3. Demnach ist MS dem 4. Teile von AM und folglich auch der Abstand des Schwerpunktes S von der Grundfläche BCD dem 4. Teile der Höhe der Pyramide gleich.

Ist die Grundfläche der Pyramide ein mehrseitiges Vieleck, so muß zunächst der Schwerpunkt derselben auf der Linie liegen, welche die Spitze mit dem Schwerpunkt S der Grundfläche verbindet. Denn diese Linie durchschneidet jeden mit der Grundfläche parallelen Durchschnitt in einem Punkte s, dessen Lage in dem der Grundfläche ähnlichen Durchschnitte der Lage des Punktes S in der Grundfläche entspricht, und der folglich der Schwerpunkt des Durchschnitts sein muß. — Der Schwerpunkt der Pyramide muß ferner um ein Viertel der Höhe von der Grundfläche abstehen, da, wenn wir uns die mehrseitige Pyramide durch Ebenen, welche durch die Spitze gehen, in dreiseitige zerlegt denken, die Schwerpunkte dieser dreiseitigen Pyramiden sämtlich den angegebenen Abstand von der Grundfläche haben.

Aus dem für die Pyramide Erwiesenen ergiebt sich leicht weiter, daß der Schwerpunkt eines Kegels in der Achse desselben liegt und um den 4. Teil derselben von dem Mittelpunkte der Grundfläche absteht.

§. 26, b. Fortsetzung. Wenn ein Körper in einem einzigen Punkt unterstützt ist, so müssen für den Fall des Gleichgewichtes der Schwerpunkt und der unterstützte Punkt in einer lotrechten Linie liegen. Wir unterscheiden hierbei folgende Fälle:

(Fig. 24.)



1) Wenn der unterstützte Punkt lotrecht über dem Schwerpunkte liegt, wie dies bei einem aufgehängten Körper der Fall ist, so strebt dieser bei einer kleinen Verrückung von selbst in die frühere Lage zurückzukehren, und man sagt dann, der Körper befindet sich im stabilen Gleichgewichte.

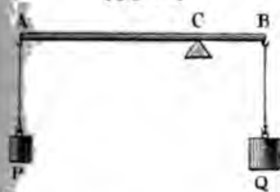
Dieses Princip findet unter anderm bei der Schiffslampe Anwendung [illegible] Ringen aufgehängt ist. Der innere [illegible] Lampe selbst trägt, ist um zwei Stifte

Bei sehr vielen Maschinen wird an Kraft gewonnen; dies ist jedoch keineswegs immer der Fall. — Von allen Maschinen aber gilt das Gesetz: Soviel an Kraft gewonnen wird, ebensoviel geht am Wege verloren; d. h. sovielmal die Last größer ist als die Kraft, welche ihr das Gleichgewicht hält, ebensovielmal ist bei entstehender Bewegung der Weg, welchen die Last beschreibt, kleiner als der Weg, welchen die Kraft durchläuft. Die folgenden Angaben über die einzelnen Maschinen werden durchgehends dieses Gesetz bestätigen. Bei der praktischen Anwendung desselben zur Berechnung des wirklichen Effektes irgend einer bestimmten Maschine hat man jedoch nicht außer acht zu lassen, daß ein großer Teil dieses Effektes durch die Reibung verloren geht.

Eigentlich giebt es nur zwei wesentlich verschiedene Maschinen: den Hebel und die schiefe Ebene, indem die Rolle und das Wellrad nur Modifikationen des Hebels sind und die Schraube und der Keil wesentlich auf dem Princip der schiefen Ebene beruhen.

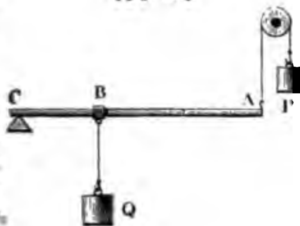
§. 28. Hebel. Ein Hebel ist eine unbiegsame Stange, welche sich um einen festen Punkt drehen läßt, und an der Kräfte angebracht sind, welche die Stange zu drehen streben. Um das Gesetz des Hebels in seiner größten Einfachheit vortragen zu können, wollen wir uns die Hebelstange selbst fürs erste ohne Schwere denken. Man nennt einen solchen Hebel einen mathematischen zum Unterschied von dem wirklichen oder physischen Hebel. — Weiter wollen wir zunächst annehmen, daß auf einen Hebel nur zwei Kräfte P und Q (Fig. 29) wirken. Da ferner der Hebel, wie schon sein Name sagt, häufig dazu angewendet wird, Lasten zu heben, so wollen wir die eine Kraft Q die Last, die andere P vorzugsweise die Kraft nennen.

(Fig. 29.)



Wenn Kraft und Last an entgegengesetzten Seiten vom Unterstützungspunkte angebracht sind, so heißt der Hebel zweiarmig (Fig. 29); liegen aber beide an derselben Seite vom Unterstützungspunkte (Fig. 30), so wird der Hebel einarmig genannt. Man unterscheidet ferner geradlinige, Winkel- und krummlinige Hebel, je nachdem die Hebelstange eine gerade Linie oder einen Winkel oder eine krumme Linie bildet. — Versteht man unter dem Hebelarme einer Kraft ihre senkrechte Entfernung vom Unterstützungspunkte, so gilt von allen Arten von Hebeln das Gesetz: Am Hebel ist Gleichgewicht vorhanden, wenn sich Kraft und Last umgekehrt wie ihre Hebelarme verhalten, also wenn sich verhält $P : Q = BC : AC$.

(Fig. 30.)



Wenn daher z. B. AC 3mal so groß als BC, so wird man der Last Q mit einer 3mal kleinern Kraft P das Gleichgewicht zu halten imstande sein. — Soll aber die Last Q durch die Kraft P wirklich gehoben werden, so wird die Kraft P einen 3mal so großen Weg zu durchlaufen haben als die Last Q.

dazu, einer Kraft eine andere Richtung zu geben, z. B. an Thüren, um durch ein senkrecht niederwärts ziehendes Gewicht der Thür eine wagerechte Bewegung zu erteilen.

Bei der *beweglichen* Rolle ist die Last Q (Fig. 39) am Mittelpunkte der Rolle angebracht, und die Kraft P wirkt am Umfange derselben vermittelst eines Seiles, dessen anderes Ende irgendwo in A befestigt ist. Wir berücksichtigen nur den Fall, daß die beiden freien Enden des Seiles AB und PD parallel laufen.[*] Da die Länge des Seiles AB, auf dessen Gewicht wir keine Rücksicht nehmen,[*] offenbar auf das Gleichgewicht ohne Einfluß ist, so können wir uns auch den festen Punkt von A nach B verlegt denken. Wir sehen dann um so deutlicher, daß der senkrechte Abstand der Last Q von dem festen Punkte A oder B nur halb so groß ist, als der senkrechte Abstand der Kraft P; es muß folglich beim Gleichgewichte $P = \frac{1}{2} Q$ sein, d. h. *bei der beweglichen Rolle ist die Kraft halb so groß als die Last.*

(Fig. 39.)

Aus der Verbindung mehrerer festen und beweglichen Rollen geht der *Flaschenzug* hervor. Die Rollen befinden sich in zwei Hülsen, einer festen A (Fig. 40) und einer beweglichen B, an welcher die Last Q angebracht ist. Den Lauf des Seiles, an dessen freiem Ende die Kraft P wirkt, zeigt die Figur. Da alle einzelnen Seile mit der Kraft P gespannt sind, so wird die Last Q offenbar mit der Kraft 6 P gehoben, wenn, wie hier in der Figur, 6 Seile um die Rollen der beweglichen Hülse herumgehen (und die Seile einander parallel laufen). *Überhaupt verhält sich beim Flaschenzuge die Kraft zur Last wie 1 zur Anzahl der Seile.* — Ebenso sieht man auch leicht, daß in dem verzeichneten Falle, um die Last Q 1 m zu heben, die an dem freien Ende des Seils wirkende Kraft P 6 m zu durchlaufen hat.

(Fig. 40.)



(Fig. 41.)



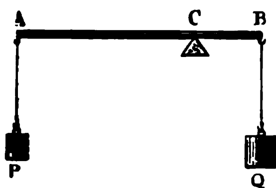
Häufig gebraucht wird auch der *Differentialflaschenzug* (Fig. 41). Derselbe besteht aus zwei an einer Achse vereinigten festen Rollen mit den verschiedenen Radien AC = R und AB = r und einer beweglichen Rolle. Eine Kette geht über die große feste, die bewegliche und die kleine feste Rolle, um sich schließlich mit ihrem Anfange zu einer Kette ohne Ende zu vereinigen. Die Kraft P wirkt an dem Umfange der großen festen Rolle in C, die Last Q spannt jede der in B und D angreifenden Ketten mit der Kraft $\frac{1}{2}$Q. Auf den zweiarmigen Hebel CD wirken also auf der einer [illegible]en Hebelarmen R und r die Kräfte P u[illegible]nderen an dem Hebelarme R die

Bei sehr vielen Maschinen wird an Kraft gewonnen; dies ist jedoch keineswegs immer der Fall. — Von allen Maschinen aber gilt das Gesetz: Soviel an Kraft gewonnen wird, ebensoviel geht am Wege verloren; d. h. sovielmal die Last größer ist als die Kraft, welche ihr das Gleichgewicht hält, ebensovielmal ist bei entstehender Bewegung der Weg, welchen die Last beschreibt, kleiner als der Weg, welchen die Kraft durchläuft. Die folgenden Angaben über die einzelnen Maschinen werden durchgehends dieses Gesetz bestätigen. Bei der praktischen Anwendung desselben zur Berechnung des wirklichen Effektes irgend einer bestimmten Maschine hat man jedoch nicht außer acht zu lassen, daß ein großer Teil dieses Effektes durch die Reibung verloren geht.

Eigentlich giebt es nur zwei wesentlich verschiedene Maschinen: den Hebel und die schiefe Ebene, indem die Rolle und das Wellrad nur Modifikationen des Hebels sind und die Schraube und der Keil wesentlich auf dem Princip der schiefen Ebene beruhen.

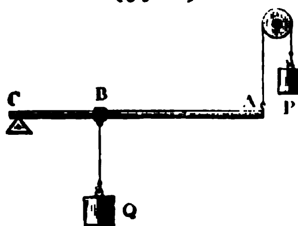
§. 28. Hebel. Ein Hebel ist eine unbiegsame Stange, welche sich um einen festen Punkt drehen läßt, und an der Kräfte angebracht sind, welche die Stange zu drehen streben. Um das Gesetz des Hebels in seiner größten Einfachheit vortragen zu können, wollen wir uns die Hebelstange selbst fürs erste ohne Schwere denken. Man nennt einen solchen Hebel einen mathematischen zum Unterschied von dem wirklichen oder physischen Hebel. — Weiter wollen wir zunächst annehmen, daß auf einen Hebel nur zwei Kräfte P und Q (Fig. 29) wirken. Da ferner der Hebel, wie schon sein Name sagt, häufig dazu angewendet wird, Lasten zu heben, so wollen wir die eine Kraft Q die Last, die andere P vorzugsweise die Kraft nennen.

(Fig. 29.)



Wenn Kraft und Last an entgegengesetzten Seiten vom Unterstützungspunkte angebracht sind, so heißt der Hebel zweiarmig (Fig. 29); liegen aber beide an derselben Seite vom Unterstützungspunkte (Fig. 30), so wird der Hebel einarmig genannt. Man unterscheidet ferner geradlinige, Winkel- und krummlinige Hebel, je nachdem die Hebelstange eine gerade Linie oder einen Winkel oder eine krumme Linie bildet. — Versteht man unter dem Hebelarme einer Kraft ihre senkrechte Entfernung vom Unterstützungspunkte, so gilt von allen Arten von Hebeln das Gesetz: Am Hebel ist Gleichgewicht vorhanden, wenn sich Kraft und Last umgekehrt wie ihre Hebelarme verhalten, also wenn sich verhält $P : Q = BC : AC$.

(Fig. 30.)

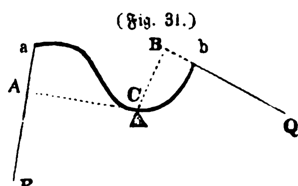


Wenn daher z. B. AC 3mal so groß als BC ist, so wird man der Last Q mit einer 3mal kleinern Kraft P das Gleichgewicht zu halten imstande sein. — Soll aber die Last Q durch die Kraft P wirklich gehoben werden, so wird die Kraft P einen 3mal so großen Weg zu durchlaufen haben als die Last Q.

Das Gesetz des Hebels ist offenbar nur eine besondere Anwendung des Gesetzes über die Zusammensetzung und Zerfällung paralleler Kräfte (§. 25).

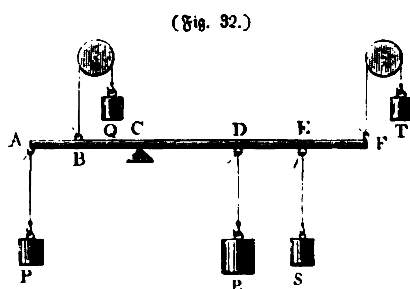
Wenn die Hebelstange nicht geradlinig ist oder die Kräfte P und Q auf dieselbe in schiefen Richtungen wirken, so hat man nicht die Strecken aC und bC (Fig. 31), sondern die aus dem Unterstützungspunkte C auf die Richtungen der Kräfte oder ihre Verlängerungen gefällten Lote AC und BC als die Hebelarme anzusehen. Auch hier ist für den Fall des Gleichgewichtes P : Q = BC : AC.

(Fig. 31.)



Da in jeder Proportion das Produkt der äußeren Glieder gleich ist dem Produkte der inneren Glieder, so folgt hieraus ferner: P . AC = Q . BC. Man nennt das Produkt aus Kraft und senkrechter Entfernung derselben vom Unterstützungspunkte das statische Moment oder Drehungsmoment. Hiernach kann man das Gesetz vom Hebel auch so aussprechen: Am Hebel ist Gleichgewicht vorhanden, wenn die statischen Momente gleich sind.

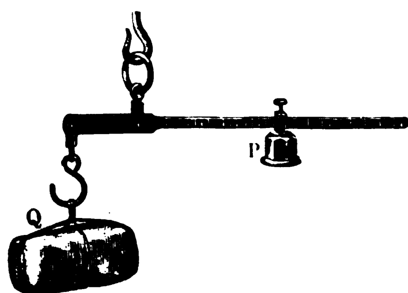
(Fig. 32.)



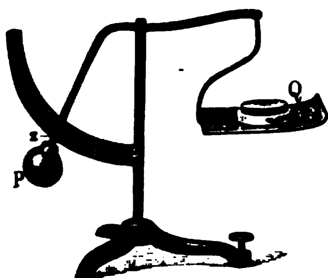
Wirken auf einen Hebel mehr als zwei Kräfte, z. B. auf den Hebel AF (Fig. 32) die Kräfte P, Q, R, S und T, von denen P und T den Hebel nach der einen Seite, Q, R und S aber nach der entgegengesetzten Seite zu drehen streben, so findet Gleichgewicht statt, wenn die Summe der Momente der Kräfte, welche den Hebel nach der einen Seite zu drehen streben, gleich ist der Summe der Momente der Kräfte, welche den Hebel nach der andern Seite zu drehen streben, also P . CA + T . CF = Q . BC + R . CD + S . CE.

Die bisher für den schwerlosen Hebel entwickelten Gesetze haben für den wirklichen Hebel nur dann volle Gültigkeit, wenn derselbe in seinem Schwerpunkte unterstützt ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so hat man das Gewicht des Hebels als eine im Schwerpunkte wirkende Kraft anzusehen und das statische Moment derselben mit in Rechnung zu bringen.

(Fig. 33.)



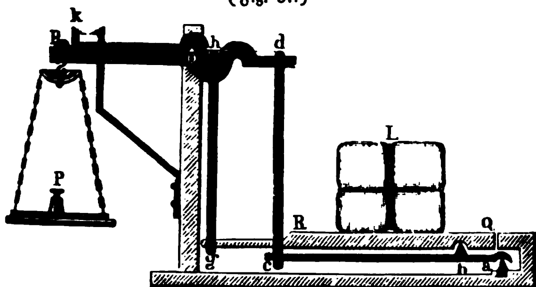
Der Hebel findet unzählige Anwendungen. Beispiele sind: die Zange, Schere, die gemeine Wage, bei welcher Kraft und Last einander gleich sein müssen, weil die Hebelarme eine gleiche Länge haben; die Schnellwage (Fig. 33), bei welcher die abzuwägende Last Q am kürzern Hebelarme hängt und durch ein bewegliches Gewicht P am längern Hebelarme ins Gleichgewicht gebracht ... Winkelhebel beim Schellenzuge, die Thür-klinke, der Schlüssel, Bohrer, der Hebe... u. s. w.



(Fig. 36.)

Die Zeigerwage (Fig. 36), welche zur Abwägung leichterer Körper gebraucht wird. Sie besteht aus einem Winkelhebel, dessen eine Stange in ein Gewicht P endigt, während die andere die Last Q trägt. Je größer die Last ist, um so mehr wird das Gewicht gehoben und gleichzeitig ein über einem Bogen spielender Zeiger z fortbewegt. Die Einteilung des Bogens wird auf die Art erhalten, daß man die Wagschale z. B. mit 10, 20, 30 g u. s. w. belastet und die Punkte des Bogens, auf welche der Zeiger weist, mit den Ziffern 10, 20, 30 u. s. w. bezeichnet, die Zwischenräume aber, um z. B. einzelne Gramm abzuwägen, in 10 gleiche Teile teilt.

Die Decimal- oder Brückenwage (Fig. 37), welche beim Abwägen größerer Lasten sehr bequem ist. Die Last L wird hier auf eine Brücke QR gelegt; diese ist einerseits an der Stange hg aufgehängt, welche an dem um o beweglichen Hebel dp befestigt ist; andrerseits ruht dieselbe auf der Schneide b, welche an dem um a drehbaren Hebel ac angebracht ist, dessen anderes Ende c durch die Stange cd ebenfalls mit dem Hebel dp verbunden ist. Letzterer trägt an dem anderen Ende p eine Wagschale für Gewichte. Das Gleichgewicht wird dadurch angezeigt, daß eine bei k an dem Hebel dp angebrachte Spitze einer an dem Gestell befestigten Spitze gerade gegenübersteht. Nun verhält sich ferner ab : ac = oh : od. Dies vorausgesetzt, ist die von der Last L auf den Hebel dp ausgeübte Wirkung dieselbe, als wenn die Last L unmittelbar an der Stange hg aufgehängt wäre. Bezeichnen wir nämlich den von der Last L auf die Punkte b und g ausgeübten Druck beziehlich mit B und G, so ist offenbar $B + G = L$, und das Moment der Kraft G in Beziehung auf den um o drehbaren Hebel dp ist $= G \cdot oh$.



(Fig. 37.)

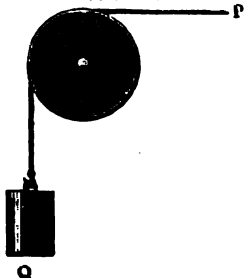
Die Kraft B drückt den um a beweglichen Hebel ac niederwärts; nehmen wir an, die Länge ab sei in ac m mal enthalten, so ist die Kraft, mit welcher infolge dieses Druckes die Stange cd abwärts gezogen wird, $= \frac{1}{m} B$; ihr Moment in Beziehung auf den Hebel pd ist folglich $= \frac{1}{m} B \cdot od = B \cdot oh$, da zufolge der obigen Voraussetzung $od = m \cdot oh$ ist.

Demnach ist die Summe der statischen Momente der Kräfte, welche die Stangen hg und dc vermöge des von der Last L ausgeübten Druckes niederwärts ziehn,

$$= G \cdot oh + B \cdot oh = (G + B) \cdot oh = L \cdot oh,$$

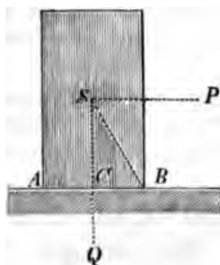
d. h. die Last L wirkt ebenso, als wenn sie unmittelbar im Punkte h aufgehängt wäre. — Nun ist ferner $op = 10 \cdot oh$ gemacht; es ist folglich das Gewicht P gleich dem zehnten Teile der Last L.

§. 30. Rolle. Eine Rolle ist eine kreisförmige Scheibe, welche an ihrem Umfange mit einer Rinne versehen ist. Die Rolle ist entweder frei beweglich oder fest, wenn sie nur um eine durch ihren Mittelpunkt gehende feste Achse drehbar ist. Da bei der festen Rolle die Kraft P und die Last Q (Fig. 38) am Umfange der Rolle angebracht sind, also gleichen Abstand vom Unterstützungspunkte haben, so muß $P = Q$ sein, wenn Gleichgewicht stattfinden soll. Bei der festen Rolle sind also Kraft und Last gleich. Durch dieselbe wird an Kraft weder gewonnen noch verloren, und sie dient ledi-



(Fig. 38.)

(Fig. 28.)



umzuwerfen. Bezeichnet P diese Kraft, Q das Gewicht des Körpers, ferner a die Höhe des Schwerpunktes S über der Grundfläche AB (Fig. 28) und b die Entfernung des Punktes C, in welchem eine durch den Schwerpunkt S lotrecht gezogene Linie die Unterstützungsfläche AB durchschneidet, von der Kante B, um welche der Körper gedreht werden soll, so ist das Moment der Kraft P für diese Kante = a . P und das Moment des Körpers = b . Q. Das Gleichgewicht ist also vorhanden, d. h. die Resultierende der beiden Kräfte P und Q geht (zufolge §. 24, a, Anm.) durch die Umdrehungskante, wenn $a . P = b . Q$, also $P = \frac{b . Q}{a}$ ist. Die Stabilität eines Körpers ist demnach um so größer, je größer sein Gewicht ist, je weiter die durch den Schwerpunkt gezogene lotrechte Linie von der Umdrehungskante absteht und je tiefer der Schwerpunkt liegt.

Bei einem aufrecht stehenden Menschen fällt der Schwerpunkt ungefähr in die Mitte des Unterleibes; eine Linie, lotrecht durch den Schwerpunkt gezogen, muß das Trapez durchschneiden, welches die Füße bestimmen. Die Stabilität eines Menschen ist daher um so größer, je weiter die Füße auseinanderstehen. Läuft ein Mensch Gefahr, nach der linken Seite hin zu fallen, so sucht er durch Aufheben des rechten Armes den Schwerpunkt wieder über jenes Trapez zu bringen. Ebenso hält der Seiltänzer die Balancierstange nach der Seite, welche der entgegengesetzt ist, nach welcher er Gefahr läuft, zu fallen, um den Schwerpunkt wieder über das Seil zu bringen. Trägt ein Mensch an einer Seite eine Last, so fällt der gemeinschaftliche Schwerpunkt des Menschen und der Last mehr nach dieser Seite, und er muß sich daher nach der entgegengesetzten Seite neigen, um den Schwerpunkt senkrecht über die Fläche zu bringen, welche zwischen seinen Füßen liegt. — Beim Gehen wird durch Aufheben und Vorwärtsbewegen des einen Fußes und durch Vorwärtsneigen des Oberleibes das Gleichgewicht aufgehoben, und der ganze Körper fängt an, nach vorn hin zu fallen, bis er am weiteren Fallen durch das Niedersetzen des aufgehobenen Fußes verhindert wird. Indem wir dasselbe abwechselnd mit dem einen und dem andern Fuße wiederholen, ist unser Gehen ein beständiges Fallen von einem Fuße auf den andern.

Die Kunst des Balancierens besteht darin, den unterstützten Punkt beständig in lotrechter Linie unter den Schwerpunkt des balancierten Körpers zu halten oder bei einer Abweichung wieder unter denselben zu bringen. — Schwere Körper sind leichter zu balancieren als leichte, weil jene einen stärkeren Druck auf die Unterlage, z. B. die Fingerspitze, ausüben und daher eine Veränderung dieses Druckes eher empfunden wird. — Ein Körper ist leichter zu balancieren, wenn sein Schwerpunkt hoch liegt, als wenn er niedrig liegt, weil dann beim Umfallen der Schwerpunkt einen größeren Bogen beschreibt, wozu auch eine längere Zeit erforderlich ist. — Auf einer Degenspitze ist ein rotierender Teller vermöge des Princips der Erhaltung der Drehungsebene leichter zu balancieren als ein ruhender. — Eine Münze läßt sich auf einer Nadelspitze balancieren, wenn man auf die Münze einen Kork setzt und in diesen einander gegenüber zwei schief abwärts gerichtete Gabeln steckt, indem hierdurch der Schwerpunkt unter die Nadelspitze gebracht, und so stabiles Gleichgewicht hergestellt wird; u. dgl. m.

§. 27. **Maschine.** Eine Kraft kann unmittelbar nur auf einen in ihrer Richtung liegenden Punkt wirken. Soll durch dieselbe ein Körper bewegt werden, welcher sich außerhalb dieser Richtung befindet, so bedarf es hierzu einer besonderen Vorrichtung. Eine Vorrichtung, mittelst deren eine Kraft auf einen außerhalb ihrer Richtung liegenden Punkt eine Wirkung auszuüben vermag, wird eine Maschine genannt. Man unterscheidet einfache und zusammengesetzte Maschinen. Zu den einfachen Maschinen rechnet man den **Hebel**, die Rolle, das Wellrad, die schiefe Ebene, den Keil und die **Schraube**. Alle anderen Maschinen sind aus diesen zusammengesetzt.

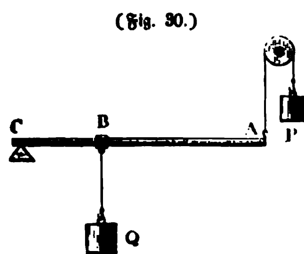
Bei sehr vielen Maschinen wird an Kraft gewonnen; dies ist jedoch keineswegs immer der Fall. — Von allen Maschinen aber gilt das Gesetz: Soviel an Kraft gewonnen wird, ebensoviel geht am Wege verloren; d. h. sovielmal die Last größer ist als die Kraft, welche ihr das Gleichgewicht hält, ebensovielmal ist bei entstehender Bewegung der Weg, welchen die Last beschreibt, kleiner als der Weg, welchen die Kraft durchläuft. Die folgenden Angaben über die einzelnen Maschinen werden durchgehends dieses Gesetz bestätigen. Bei der praktischen Anwendung desselben zur Berechnung des wirklichen Effektes irgend einer bestimmten Maschine hat man jedoch nicht außer acht zu lassen, daß ein großer Teil dieses Effektes durch die Reibung verloren geht.

Eigentlich giebt es nur zwei wesentlich verschiedene Maschinen: den Hebel und die schiefe Ebene, indem die Rolle und das Wellrad nur Modifikationen des Hebels sind und die Schraube und der Keil wesentlich auf dem Princip der schiefen Ebene beruhen.

§. 28. Hebel. Ein Hebel ist eine unbiegsame Stange, welche sich um einen festen Punkt drehen läßt, und an der Kräfte angebracht sind, welche die Stange zu drehen streben. Um das Gesetz des Hebels in seiner größten Einfachheit vortragen zu können, wollen wir uns die Hebelstange selbst fürs erste ohne Schwere denken. Man nennt einen solchen Hebel einen mathematischen zum Unterschied von dem wirklichen oder physischen Hebel. — Weiter wollen wir zunächst annehmen, daß auf einen Hebel nur zwei Kräfte P und Q (Fig. 29) wirken. Da ferner der Hebel, wie schon sein Name sagt, häufig dazu angewendet wird, Lasten zu heben, so wollen wir die eine Kraft Q die Last, die andere P vorzugsweise die Kraft nennen.

(Fig. 29.)

Wenn Kraft und Last an entgegengesetzten Seiten vom Unterstützungspunkte angebracht sind, so heißt der Hebel zweiarmig (Fig. 29); liegen aber beide an derselben Seite vom Unterstützungspunkte (Fig. 30), so wird der Hebel einarmig genannt. Man unterscheidet ferner geradlinige, Winkel- und krummlinige Hebel, je nachdem die Hebelstange eine gerade Linie oder einen Winkel oder eine krumme Linie bildet. — Versteht man unter dem Hebelarme einer Kraft ihre senkrechte Entfernung vom Unterstützungspunkte, so gilt von allen Arten von Hebeln das Gesetz: Am Hebel ist Gleichgewicht vorhanden, wenn sich Kraft und Last umgekehrt wie ihre Hebelarme verhalten, also wenn sich verhält $P : Q = BC : AC$.



(Fig. 30.)

Wenn daher z. B. AC 3mal so groß als BC ist, so wird man der Last Q mit einer 3mal kleinern Kraft P das Gleichgewicht zu halten imstande sein. — Soll aber die Last Q durch die Kraft P wirklich gehoben werden, so wird die Kraft P einen 3mal so großen Weg zu durchlaufen haben als die Last Q.

der Kraft R zu einer Resultierenden $T = S + R = 12$ verbindet und, um den Angriffspunkt E derselben zu finden, die Linie CD in E so teilt, daß sich $CE : DE = S : R = 7 : 5$ verhält, so wird die in E angebrachte Kraft $T = 12$ das nämliche bewirken, wie die drei parallelen Kräfte P, Q und R zusammen. Der Punkt E heißt der Mittelpunkt dieser Kräfte.

Man sieht hiernach leicht, wie man zu verfahren hätte, wenn die Resultierende und der Mittelpunkt für 4 und mehr parallele Kräfte gefunden werden sollte.

Um aus dem Gesetze vom Parallelogramm der Kräfte den Satz über die Zusammensetzung zweier parallelen Kräfte herzuleiten, schicken wir folgende Grundsätze voraus:

1) Die Wirkung eines Systems von Kräften wird nicht geändert, wenn man zu denselben beliebig viel Kräfte derart hinzufügt, daß sich letztere gegenseitig aufheben.

2) Die Wirkung einer Kraft wird nicht geändert, in welchen Punkt ihrer Richtung man auch ihren Angriffspunkt verlegt.

Wir bringen nun, um für die beiden parallelen Kräfte P und Q, welche durch AD und BE (Fig. 21) dargestellt sein mögen, Resultierende wie Mittelpunkt zu bestimmen, in A und B zwei weitere Kräfte $S_1 = AF$ und $S_2 = BG$ an, welche einander gleich und entgegengerichtet sind, sich also gegenseitig aufheben. Dann wirken nach Grundsatz 1 die vier Kräfte P, Q, S_1 und S_2 genau ebenso wie die Kräfte P und Q allein. Vereinigen wir nun mittelst der Parallelogramme ADHF und BGKE einerseits die Kräfte P und S_1 zu der Mittelkraft $T_1 = AH$, andrerseits die Kräfte Q und S_2 zu der Mittelkraft $T_2 = BK$ und verlegen nach Grundsatz 2 die Angriffspunkte der Kräfte T_1 und T_2 nach dem Punkte L, in welchem sich die Richtungen derselben rückwärts verlängert schneiden, so können wir die beiden Kräfte T_1 und T_2 abermals zu einer Resultierenden R vereinigen, welche dann auch die Resultierende der beiden Kräfte P und Q bilden muß. Zu dem Zwecke machen wir $Lh = AH$, $Lk = BK$ und zerlegen, indem wir Lf ‡ AF, Ld ‡ AD, Lg ‡ BG, Le ‡ BE machen, die Kräfte T_1 und T_2 wieder in diejenigen Seitenkräfte, aus welchen dieselben ursprünglich gebildet sind. Dann heben die Kräfte Lf und Lg, weil gleich und entgegengerichtet, einander auf, während die beiden Kräfte Ld und Le nach derselben Richtung wirken, sich also addieren; mithin ist die Resultierende $R = Ld + Le = P + Q$.

(Fig. 21.)

Ferner folgt aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ACL und hdL, daß sich

$$AC : hd = LC : Ld$$

und aus der Ähnlichkeit der Dreiecke BCL und keL, daß sich

$$BC : ek = LC : Le$$

verhält. Dividieren wir beide Proportionen durch einander, so ergiebt sich, da $hd = ek$ ist,

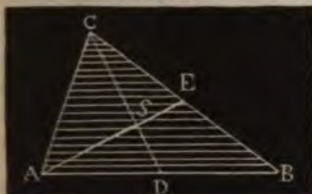
$$AC : BC = Le : Ld = Q : P.$$

§. 26, a. **Schwerpunkt.** Von der Wirkung paralleler Kräfte liefert die Natur in der Anziehung, welche von der Erde auf die materiellen Teile eines jeden auf derselben befindlichen Körpers ausgeübt wird, selbst ein Beispiel. Die Richtungen dieser anziehenden Kräfte konvergieren zwar genau genommen nach dem Mittelpunkte der Erde (s. §. 21, a); doch dürfen wir bei der großen Entfernung dieses Punktes von der Erdoberfläche die auf die einzelnen Teilchen eines Körpers wirkenden Anziehungen als parallel wirkende Kräfte betrachten. Diese Kräfte vereinigen sich

zu einer Resultierenden, deren Angriffspunkt der **Schwerpunkt** des Körpers genannt wird. Aus dem Gesagten folgt, daß man sich im Schwerpunkte die ganze Masse des Körpers vereinigt denken kann, und daß daher **ein Körper nur so lange ruht, als sein Schwerpunkt unterstützt ist.**

Der **Schwerpunkt einer Kugel**, in welcher die Masse gleichförmig verteilt ist, liegt offenbar im Mittelpunkte derselben, der **Schwerpunkt eines gleichförmigen Stabes** in dessen Mitte. Der **Schwerpunkt eines materiellen Dreiecks** (eines dreieckigen Brettes) ABC (Fig. 22) wird gefunden, wenn man die Mitten zweier Seiten D und E mit den gegenüberliegenden Ecken C und A verbindet. Der Durchschnittspunkt S dieser Verbindungslinien ist der gesuchte Schwerpunkt. Denn wenn man sich das Dreieck ABC durch Linien parallel zu AB in sehr schmale Streifen geteilt denkt, so werden diese Streifen sämtlich durch CD halbiert. In der Linie CD müssen daher die Schwerpunkte aller Streifen und folglich auch der Schwerpunkt des Dreiecks liegen. Ebenso findet man, daß derselbe in der Linie AE liegt. Er muß folglich im Durchschnittspunkte S liegen. Der Punkt S ist doppelt so weit von der Spitze als von der Grundlinie entfernt ($DS = \frac{1}{2} CS$*).

(Fig. 22.)



Um den Schwerpunkt eines Vierecks zu bestimmen, zerschneiden wir dasselbe durch eine Diagonale in zwei Dreiecke und verbinden die Schwerpunkte derselben, dann liefert uns diese Verbindung eine Linie (Schwerlinie), auf welcher der Schwerpunkt des Vierecks liegen muß. Ziehen wir darauf die zweite Diagonale und verbinden die Schwerpunkte der dadurch erhaltenen Dreiecke, so gelangen wir zu einem zweiten geometrischen Orte für den gesuchten Punkt. Letzterer liegt also da, wo sich die beiden genannten Schwerlinien schneiden. — Auf entsprechende Weise läßt sich der Schwerpunkt eines beliebigen Vielecks bestimmen.

Der Schwerpunkt eines **Kreises** oder eines kreisförmigen **Ringes** liegt im Mittelpunkte desselben, der Schwerpunkt eines **Parallelogramms** im Durchschnittspunkte der beiden Diagonalen.

Der Schwerpunkt eines **Prismas** fällt in die Mitte der Linie, welche die Schwerpunkte der beiden Grundflächen verbindet.

Der Schwerpunkt einer **Pyramide** liegt in der Linie, welche die Spitze mit dem Schwerpunkte der Grundfläche verbindet, und ist von der Spitze dreimal so weit als von der Grundfläche entfernt. — Dieses gilt ebenso vom Kegel.

Der **Schwerpunkt eines Cylinders** liegt in der Mitte seiner Achse.

Da alle eckigen Körper sich in Pyramiden zerfällen lassen, so ist man durch das Vorhergehende in den Stand gesetzt, ihre Schwerpunkte auf theoretischem Wege zu bestimmen.

Praktisch wird der Schwerpunkt eines Körpers gefunden, wenn man denselben an zwei beliebigen Stellen an einem Faden aufhängt. Da der Schwerpunkt, wenn der Körper zur Ruhe gekommen ist, jedesmal in der verlängerten Richtung des Fadens liegt, so schneiden sich diese Verlängerungen in dem gesuchten Schwerpunkte.

*) Vergl. Planimetrie, §. 269.

dagegen das Maßsystem mit den eben angegebenen Grundeinheiten: Masse (1 Gr.), Länge (1 cm) und Zeit (1 Sek.) das **absolute**. Das letztere bezeichnet man auch nach seinen Grundeinheiten wohl als Gramm-Centimeter-Sekunden-System. — Hinsichtlich der beiden Maßsysteme ist zu beachten, daß unter Gramm in dem praktischen System ein Gewicht, im absoluten dagegen eine Masse verstanden wird. Wählt man für das praktische Maßsystem als Einheit der Kraft und der Länge anstelle von Kilogramm und Meter die kleineren Einheiten Gramm und Centimeter, so besitzen beide Systeme die nämliche Längen- und Zeiteinheit; dagegen ist — die Fallbeschleunigung g in cm ausgedrückt, also angenähert = 980 gesetzt — im absoluten System die Einheit der Kraft (Gewicht von $\frac{1}{g}$ Gr.) und desgleichen die Einheit der Masse (Masse von 1 Gr.) g mal so klein als die entsprechende Einheit des praktischen Systems (Gewicht von 1 Gr., Masse von g Gr.). Umgekehrt sind die Maßzahlen, welche man beim Abmessen einer Kraft oder einer Masse erhält, im absoluten Maßsystem g mal größer als im praktischen.

§. 37. Stoß fester Körper. Der Stoß entsteht, wenn ein bewegter Körper auf einen anderen ruhenden oder bewegten Körper trifft. Die durch den Stoß erzeugte Bewegung ist nach dem Trägheitsgesetze eine geradlinige und gleichförmige.

Bei jedem Stoße haben wir zunächst die Gestalt der zusammenstoßenden Körper und die Richtung der Bewegung zu berücksichtigen. In Betreff der Gestalt beschränken wir uns auf die Betrachtung kugelförmiger Körper. In Hinsicht der Richtung unterscheiden wir den geraden und schiefen Stoß. Der Stoß heißt gerade, wenn die Richtungen der Bewegungen beider zusammentreffenden Kugeln mit der Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte zusammenfallen, schief, wenn dieses nicht stattfindet.

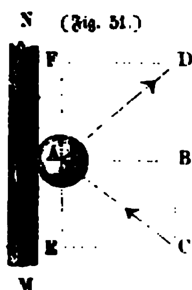
Von wesentlichem Einfluß auf den Erfolg des Stoßes ist ferner die größere oder geringere Elasticität der zusammenstoßenden Körper. Wir berücksichtigen nur die beiden einfachsten Fälle, indem wir die zusammenstoßenden Massen entweder als vollkommen elastisch oder vollkommen unelastisch voraussetzen. Da in der Natur keine dieser Annahme vollständig entsprechenden Körper angetroffen werden, so geben die sogleich anzuführenden Gesetze gleichsam die Grenzen an, zwischen denen die wirklichen Erscheinungen liegen. Wir beschränken uns hierbei noch auf die Annahme, daß die zusammenstoßenden Körper, wenn beide beweglich sind, eine gleiche Masse haben, und daß einer derselben vor dem Stoße ruhte.

1) Stößt eine unelastische Kugel gegen eine feste Wand in einem geraden Stoße, so ruht sie nach dem Stoße.

2) Stößt eine unelastische Kugel gegen eine andere ruhende in einem geraden Stoße, so gehen beide nach dem Stoße mit der halben Geschwindigkeit der stoßenden Kugel fort.

3) Stößt eine elastische Kugel gegen eine feste Wand in einem geraden Stoße, so springt sie mit derselben Geschwindigkeit und auf demselben Wege zurück, auf welchem sie ankam. — Die elastische Kugel wird nämlich im Stoße zusammengedrückt, und da sie mit der nämlichen Kraft ihre Gestalt wieder herzustellen strebt, so erhält sie nach dem Stoße gerade die entgegengesetzte Bewegung, welche sie vor dem Stoße hatte.

4) Wenn eine elastische Kugel gegen eine feste Wand in einem schiefen Stoße trifft, so springt sie mit d[illegible]gkeit und unter dem

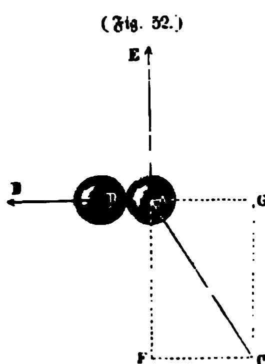


nämlichen Winkel an der andern Seite zurück. — Denn wenn wir uns die Bewegung CA (Fig. 51) der stoßenden Kugel in die beiden Seitenbewegungen BA und EA zerlegt denken, von denen BA auf der festen Wand MN senkrecht, EA aber mit derselben parallel ist, so bleibt die Bewegung EA offenbar im Stoße ungeändert, und die Kugel würde sich, wenn sie nur diese Bewegung hätte, nach dem Stoße mit der Geschwindigkeit AF = EA längs der Wand fortbewegen. Dagegen verwandelt sich die Bewegung BA nach Nr. 3 in die gerade entgegengesetzte AB. Durch Zusammensetzung dieser beiden Bewegungen AB und AF ergiebt sich AD als die wirkliche Bewegung der mit der Bewegung CA angekommenen Kugel nach dem Stoße, wo AD = AC und Winkel DAF = CAE ist.

5) Stößt eine elastische Kugel an eine andere ruhende in einem geraden Stoße, so bleibt sie nach dem Stoße ruhen und die vorher ruhende geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden fort.

Versuche mit Kugeln auf dem Billard stellen dieses Gesetz darum weniger gut dar, weil sie wegen der Reibung an dem Tuche des Billards zugleich eine rollende Bewegung annehmen, welche durch den Stoß nicht aufgehoben wird. Besser eignen sich an Fäden aufgehängte elastische Kugeln für diese Versuche.

6) Stößt eine elastische Kugel A (Fig. 52) an eine andere ruhende B in einem schiefen Stoße, so gehen dieselben unter rechten Winkeln aus einander, und zwar geht die gestoßene Kugel B in der verlängerten Richtung BD einer Linie, welche durch die Berührungsstelle beider Kugeln im Stoße und die Mittelpunkte derselben geht, die stoßende Kugel A aber in einer hierauf senkrechten Richtung AE fort. — Denn wenn CA die Bewegung der Kugel A vor dem Stoße anzeigt, und wir zerlegen diese Bewegung in die beiden Seitenbewegungen FA und GA, so bleibt die erstere im Stoße unverändert, die letztere aber wird nach Nr. 5 ganz auf die Kugel B übertragen; es geht daher diese nach dem Stoße in der Richtung BD, die Kugel A aber in der Richtung AE fort.



7) Wenn zwei unelastische Kugeln, welche sich beide nach derselben Richtung bewegen, zusammenstoßen, indem die eine die andere einholt, so gehen sie nach dem Stoße mit der halben Summe der Geschwindigkeiten fort.

8) Stoßen zwei unelastische Kugeln mit entgegengesetzten Geschwindigkeiten an einander, so gehen sie nach dem Stoße mit der halben Differenz der Geschwindigkeiten fort.

9) Stoßen zwei nach derselben oder entgegengesetzten Richtung bewegte elastische Kugeln zusammen, so gehen sie nach dem Stoße mit verwechselten Geschwindigkeiten fort.

Sind überhaupt M und M' die Massen zweier Kugeln, C und C' ihre Geschwindigkeiten vor dem Stoße, so ist im Stoße die zu bewegende Masse = M + M', die bewegende Kraft MC ± M'C', je nachdem die Kugeln vor dem Stoße hinter einander her oder einander entgegen gingen, folglich, wenn die Kugeln unelastisch sind, ihre gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stoße

$$v = \frac{MC \pm M'C'}{M + M'}$$

Sind dagegen die Kugeln elastisch, so werden dieselben zunächst im Stoße zusammengedrückt; sie würden, wenn sie ihre Gestalt nicht wieder herstellten, wie wir soeben gesehen haben, mit der Geschwindigkeit $\frac{MC + M'C'}{M + M'}$ weiter gehen, wenn wir zuerst den Fall behandeln, daß beide Kugeln sich vor dem Stoße nach derselben Richtung bewegten. Nehmen wir ferner die Kugel mit der Masse M' als die vorangehende, die Kugel mit der Masse M als die nachfolgende, also $C > C'$ an, so erleidet diese im Stoße einen Verlust an Geschwindigkeit gleich

$$C - \frac{MC + M'C'}{M + M'} = \frac{M'(C - C')}{M + M'},$$

die andere aber erfährt einen Zuwachs an Geschwindigkeit gleich

$$\frac{MC + M'C'}{M + M'} - C' = \frac{M(C - C')}{M + M'}.$$

Da nun aber beide Kugeln mit derselben Kraft, mit welcher dieselben im Stoße zusammengedrückt worden sind, ihre Gestalt wieder herstellen, so erfährt die erstere denselben Verlust, die andere den nämlichen Zuwachs an Geschwindigkeit nochmals, also überhaupt doppelt. Die Geschwindigkeit der nachfolgenden Kugel ist folglich nach dem Stoße

$$v = C - \frac{2M'(C - C')}{M + M'} = \frac{2M'C' + C(M - M')}{M + M'},$$

die Geschwindigkeit der vorangehenden aber

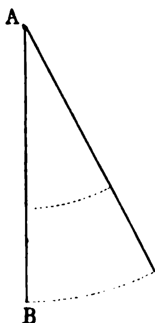
$$v' = C' + \frac{2M(C - C')}{M + M'} = \frac{2MC + C'(M' - M)}{M + M'}.$$

Diese Formeln gelten auch dann noch, wenn die Kugeln vor dem Stoße sich nicht hinter einander, sondern gegen einander bewegten; wir haben in diesem Falle nur die Geschwindigkeit der einen Kugel C als positiv, die der anderen C' als negativ anzunehmen. — Endlich möge noch erwähnt werden, daß die oben unter (5) und (9) aufgeführten Gesetze sich aus der allgemeinen Formel leicht herleiten lassen, wenn man zur Ableitung von (9) $M = M'$ und zur Ableitung von (5) außerdem noch $C' = 0$ in die aufgestellten Gleichungen einsetzt.

Über die Stärke des Stoßes siehe den vorhergehenden §. und §. 44 b.

***§. 38. Trägheitsmoment.** Wird eine Stange AB (Fig. 53) um eine durch den Punkt A gehende Achse gedreht, so beschreibt jeder andere Punkt der Stange um den Drehungspunkt A einen Kreisbogen, welcher um so größer ist, je weiter der betreffende Punkt von dem Drehungspunkte entfernt ist. — Führt allgemein ein Körper eine drehende Bewegung um eine Achse aus, so beschreibt jeder Punkt desselben, welcher nicht gerade auf der Drehungsachse liegt, einen Kreisbogen, dessen Ebene senkrecht zur Drehungsachse steht und dessen Halbmesser gleich dem Abstande des Punktes von der Drehungsachse ist.

(Fig. 53.)



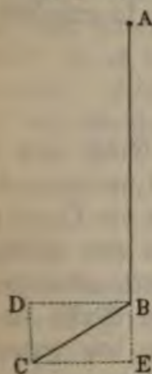
Da alle Punkte des Körpers eine ganze Umdrehung in der nämlichen Zeit ausführen, so muß ein Punkt seine Bahn mit um so größerer Geschwindigkeit durcheilen, je weiter er von der Drehungsachse entfernt ist. Denken wir uns aber von den einzelnen Punkten des Körpers Linien senkrecht zur Achse gezogen, so beschreiben diese Abstände für alle Punkte des Körpers in derselben Zeit gleiche Winkel. Bei einer drehenden Bewegung bezeichnet man den Winkel, welchen der Abstand eines Punktes von der Drehungsachse bei gleichförmiger Bewegung in der Zeiteinheit durcheilt, als Winkelgeschwindigkeit. Dieselbe wird durch den Bogen gemessen, welchen ein um die Längeneinheit von der Drehungsachse entfernter Punkt dabei zurücklegt.

Aus der Winkelgeschwindigkeit läßt sich die Geschwindigkeit eines beliebigen Punktes bestimmen, wenn sein Abstand von der Drehungsachse bekannt ist. Bei einem 2-, 3fachen Abstande wird nämlich der durcheilte Bogen, also auch die Geschwindigkeit ebenfalls die 2-, 3fache. Allgemein ist, wenn wir die Winkelgeschwindigkeit eines Punktes mit w, seinen Abstand von der Drehungsachse mit r bezeichnen, seine Geschwindigkeit

$$v = wr.$$

Nach §. 36 muß die Winkelgeschwindigkeit eines Körpers, der gezwungen ist, sich um eine Achse zu drehen, von der bewegenden Kraft und der fortzubewegenden Masse abhängen. Um diese Abhängigkeit genauer zu erkennen, gehen wir von besonders einfachen Verhältnissen aus. — Wirkt auf die Stange AB (Fig. 54), von der wir voraussetzen, daß sie sich nur um eine durch den Punkt A gehende Achse drehen läßt, im Punkte B eine Kraft, die mit der Drehungsebene (der Ebene des Papiers) einen Winkel bildet, so kann nur diejenige Komponente eine Bewegung hervorrufen, welche in die Drehungsebene hineinfällt, während die senkrecht dazu gerichtete Komponente durch die Festigkeit der Achse aufgehoben wird. Greift ferner an der Stange AB eine Kraft BC in der Drehungsebene unter einem schiefen Winkel an, so kommt auch diese Kraft nicht vollständig zur Geltung, sondern es bewirkt nur diejenige Komponente BD eine Drehung, welche zur Stange AB senkrecht gerichtet ist, da die in die Richtung der Stange fallende Komponente BE durch den festen Punkt A hindurchgeht und infolgedessen aufgehoben wird. Da diese Betrachtungen bei jeder Drehung eines Körpers um eine Achse Gültigkeit haben, so nehmen wir von einer jeden drehenden Kraft von vornherein an, daß sie in einer zur Drehungsachse senkrechten Ebene gelegen ist und daß sie auf dem Abstande ihres Angriffspunktes von der Drehungsachse senkrecht steht.

(Fig. 54.)



Es mögen nun an der Stange mehrere Kräfte, welche dieselbe in gleichem Sinne zu drehen streben, nach einander in verschiedenen Punkten angreifen. Nach dem Gesetze vom Hebel (§. 28) halten sich entgegengesetzt drehende Kräfte im Gleichgewicht, wenn sie gleiche Drehungsmomente haben. Es bewirken daher zwei in demselben Sinne drehende Kräfte eine gleich starke Drehung, bringen also in der Stange dieselbe Winkelgeschwindigkeit hervor, wenn ihre Drehungsmomente gleich sind. Solche Kräfte können demnach unbeschadet ihrer Wirkung einander ersetzen. Insbesondere läßt sich jede Kraft durch eine andere ersetzen, welche gleich dem Momente der gegebenen Kraft ist und in der Entfernung 1 von der Drehungsachse angreift.

Denken wir uns nun weiter, daß die Stange selbst ohne Gewicht sei, dagegen in einem ihrer Punkte eine gewisse Masse trage. Diese Masse hat bei demselben Drehungswinkel einen um so größeren Weg zu durcheilen, je weiter sie von dem Drehungspunkte entfernt ist. Infolgedessen wird eine Kraft, deren Größe und Angriffspunkt sich nicht ändern, der Masse bei größerem Abstande von dem Drehungspunkte in derselben Zeit eine geringere Winkelgeschwindigkeit erteilen. Es entsteht daher die Frage, in welcher Beziehung zwei Massen stehen müssen, wenn sie bei ungleicher Ent-

fernung vom Drehungspunkte durch eine konstante Kraft mit unverändertem Angriffspunkte in derselben Zeit gleiche Winkelgeschwindigkeit erhalten sollen. Bezeichnen wir die beiden Massen mit m und m′, ihre Abstände vom Drehungspunkte mit r und r′, die gemeinsame Winkelbeschleunigung, welche sie unter dem Einflusse der wirkenden Kraft erlangen, d. h. den Zuwachs der Winkelgeschwindigkeit in der Zeiteinheit, mit w, so ist die Beschleunigung, welche die Masse m erfährt, $= rw$, diejenige, welche die Masse m′ erfährt, $= r'w$. Hieraus ergiebt sich als Maß für eine Kraft, welche der Masse m, beziehungsweise m′, die Bewegung bei unmittelbarer Einwirkung erteilen würde, der Ausdruck mrw, beziehungsweise m′r′w. Das Moment der ersteren Kraft ist gleich $r \,.\, mrw = mr^2w$, das der letzteren gleich $r' \,.\, m'r'w = m'r'^2w$. Da nun beide Massen durch dieselbe Kraft bewegt werden sollen, mithin die vorstehenden Momente dieselbe Kraft in der Entfernung 1 vom Drehungspunkte darstellen, so erhalten wir die Gleichung $r^2mw = r'^2m'w$,

woraus folgt: 1) $mr^2 = m'r'^2$

und weiter: 2) $m : m' = r'^2 : r^2$.

Sollen also zwei Massen durch eine Kraft, welche ihre Größe und ihren Angriffspunkt nicht ändert, mit gleicher Winkelgeschwindigkeit um eine Achse gedreht werden, so müssen sie sich umgekehrt verhalten, wie die Quadrate ihrer Abstände von der Drehungsachse. — In der doppelten oder dreifachen Entfernung erlangt unter übrigens gleichen Umständen nur der vierte oder neunte Teil einer Masse die gleiche Winkelgeschwindigkeit wie die gegebene Masse in der einfachen Entfernung. Es setzt mit anderen Worten eine Masse in dem doppelten oder dreifachen Abstande von der Achse einer Drehung den vier- oder neunfachen Widerstand entgegen.

Bezeichnen wir nun insbesondere diejenige Masse, welche in der Entfernung 1 von der Drehungsachse die gleiche Winkelgeschwindigkeit erlangt, wie die Masse m in der Entfernung r, mit μ, so erhalten wir nach Gl. 1 zur Bestimmung derselben die Gleichung 3) $\mu = mr^2$.

Diese Masse, durch welche man in der Entfernung 1 von der Drehungsachse eine in anderer Entfernung befindliche Masse ersetzen kann, ohne die Winkelbewegung zu ändern, führt den Namen Trägheitsmoment. Das Trägheitsmoment ist gleich dem Produkte aus der Masse und dem Quadrate ihres Abstandes von der Drehungsachse. Dasselbe bildet ein Maß für den Widerstand, welchen eine Masse vermöge ihrer Trägheit einer Drehung entgegensetzt. Dementsprechend läßt sich das oben in der Gl. 1 gewonnene Resultat auch kürzer in folgender Weise aussprechen:

Zwei Massen setzen der Drehung um eine Achse gleichen Widerstand entgegen, wenn sie gleiche Trägheitsmomente haben.

Um das Trägheitsmoment eines Körpers zu bestimmen, d. h. diejenige Masse, durch welche sich die gesamte Masse des Körpers in der Entfernung 1 von der Drehungsachse ersetzen läßt, bezeichnen wir die einzelnen Massenteilchen des Körpers mit $m_1, m_2, m_3 \ldots$, ihre Abstände von der Drehungsachse mit $r_1, r_2, r_3 \ldots$, sodaß ihre Trägheitsmomente durch $m_1r_1^2$, $m_2r_2^2$, $m_3r_3^2 \ldots$ dargestellt sind. Da wir nun jedes einzelne Massenteilchen, ohne den Zustand der Bewegung zu ändern, durch sein

Trägheitsmoment in der Entfernung 1 von der Drehungsachse ersetzen können, so erhalten wir für das Trägheitsmoment des Körpers, wenn wir dasselbe noch mit T bezeichnen, den Ausdruck

$$4)\ T = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots$$

Das Trägheitsmoment eines Körpers ist also gleich der Summe der Trägheitsmomente seiner materiellen Teile.

Mit Hülfe des Trägheitsmomentes vermögen wir nun die Abhängigkeit der Winkelbeschleunigung von der bewegenden Kraft und der fortzubewegenden Masse darzustellen. Dem Vorstehenden zufolge ist nämlich die in dem Abstande 1 von der Drehungsachse wirkende Kraft, welche in einem Körper mit dem Trägheitsmomente T die Winkelbeschleunigung w erzeugt, $= Tw$. Wird die Winkelbeschleunigung aber durch eine Kraft K bewirkt, welche in der Entfernung p von der Drehungsachse angreift, so ist die in der Entfernung 1 anzubringende Kraft, welche dieselbe Wirkung hervorruft, gleich dem Drehungsmomente der Kraft K, also $= Kp$. Wir erhalten somit die Gleichung

$$5)\ Kp = Tw$$

und daraus für die Winkelbeschleunigung den Wert

$$6)\ w = \frac{Kp}{T}.$$

Bei der Drehung eines Körpers um eine Achse ist also die Winkelbeschleunigung gleich dem Quotienten aus dem Drehungsmomente und dem Trägheitsmomente.

Das Trägheitsmoment eines Körpers kann im allgemeinen, wenn die Größe und Gestalt eines aus gleichförmiger Materie bestehenden Körpers und die Lage der Drehungsachse gegeben ist, durch Rechnung gefunden werden. Diese Rechnung bietet jedoch, wenn nur die Lehren der Elementarmathematik zu Hülfe genommen werden, mehrenteils nicht unerhebliche Schwierigkeiten dar. Wir beschränken uns auf das folgende, für die Lehre vom physischen Pendel nützliche Beispiel.

Es soll zunächst das Trägheitsmoment einer sehr dünnen Stange, welche um den einen Endpunkt drehbar ist, gefunden werden, wenn die Länge der Stange gleich s, die Masse derselben gleich M gegeben ist. — Denken wir uns die Länge der Stange in n gleiche Teile geteilt, dann ist die Masse eines jeden Teilchens $= \frac{M}{n}$; die Abstände dieser Teilchen von dem Drehungspunkte sind offenbar größer als

$$o,\ \frac{1}{n}s,\ \frac{2}{n}s,\ \frac{3}{n}s \dots\dots \frac{n-1}{n}s$$

und kleiner als

$$\frac{1}{n}s,\ \frac{2}{n}s,\ \frac{3}{n}s \dots\dots \frac{n}{n}s.$$

Bezeichnen wir das gesuchte Trägheitsmoment der ganzen Stange mit T, so ist folglich

$$T > M . \frac{s^2}{n^3}(1 + 2^2 + 3^2 \dots\dots + (n-1)^2),$$

aber

$$T < M . \frac{s^2}{n^3}(1 + 2^2 + 3^2 \dots\dots + n^2).$$

Nun ist bekanntlich (Arithm. Aufl. 12. §. 217, Anm.)

$$1 + 2^2 + 3^2 \dots\dots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

und

$$1 + 2^2 + 3^2 \dots\dots + (n-1)^2 = \frac{(n-1) . n . (2n-1)}{6},$$

fernung vom Drehungspunkte durch eine konstante Kraft mit unverändertem Angriffspunkte in derselben Zeit gleiche Winkelgeschwindigkeit erhalten sollen. Bezeichnen wir die beiden Massen mit m und m′, ihre Abstände vom Drehungspunkte mit r und r′, die gemeinsame Winkelbeschleunigung, welche sie unter dem Einflusse der wirkenden Kraft erlangen, d. h. den Zuwachs der Winkelgeschwindigkeit in der Zeiteinheit, mit w, so ist die Beschleunigung, welche die Masse m erfährt, $= rw$, diejenige, welche die Masse m′ erfährt, $= r'w$. Hieraus ergiebt sich als Maß für eine Kraft, welche der Masse m, beziehungsweise m′, die Bewegung bei unmittelbarer Einwirkung erteilen würde, der Ausdruck mrw, beziehungsweise m′r′w. Das Moment der ersteren Kraft ist gleich $r \,.\, mrw = mr^2w$, das der letzteren gleich $r' \,.\, m'r'w = m'r'^2w$. Da nun beide Massen durch dieselbe Kraft bewegt werden sollen, mithin die vorstehenden Momente dieselbe Kraft in der Entfernung 1 vom Drehungspunkte darstellen, so erhalten wir die Gleichung $r^2mw = r'^2m'w$,

woraus folgt: 1) $mr^2 = m'r'^2$

und weiter: 2) $m : m' = r'^2 : r^2$.

Sollen also zwei Massen durch eine Kraft, welche ihre Größe und ihren Angriffspunkt nicht ändert, mit gleicher Winkelgeschwindigkeit um eine Achse gedreht werden, so müssen sie sich umgekehrt verhalten, wie die Quadrate ihrer Abstände von der Drehungsachse. — In der doppelten oder dreifachen Entfernung erlangt unter übrigens gleichen Umständen nur der vierte oder neunte Teil einer Masse die gleiche Winkelgeschwindigkeit wie die gegebene Masse in der einfachen Entfernung. Es setzt mit anderen Worten eine Masse in dem doppelten oder dreifachen Abstande von der Achse einer Drehung den vier- oder neunfachen Widerstand entgegen.

Bezeichnen wir nun insbesondere diejenige Masse, welche in der Entfernung 1 von der Drehungsachse die gleiche Winkelgeschwindigkeit erlangt, wie die Masse m in der Entfernung r, mit μ, so erhalten wir nach Gl. 1 zur Bestimmung derselben die Gleichung 3) $\mu = mr^2$.

Diese Masse, durch welche man in der Entfernung 1 von der Drehungsachse eine in anderer Entfernung befindliche Masse ersetzen kann, ohne die Winkelbewegung zu ändern, führt den Namen Trägheitsmoment. Das Trägheitsmoment ist gleich dem Produkte aus der Masse und dem Quadrate ihres Abstandes von der Drehungsachse. Dasselbe bildet ein Maß für den Widerstand, welchen eine Masse vermöge ihrer Trägheit einer Drehung entgegensetzt. Dementsprechend läßt sich das oben in der Gl. 1 gewonnene Resultat auch kürzer in folgender Weise aussprechen:

Zwei Massen setzen der Drehung um eine Achse gleichen Widerstand entgegen, wenn sie gleiche Trägheitsmomente haben.

Um das Trägheitsmoment eines Körpers zu bestimmen, d. h. diejenige Masse, durch welche sich die gesamte Masse des Körpers in der Entfernung 1 von der Drehungsachse ersetzen läßt, bezeichnen wir die einzelnen Massenteilchen des Körpers mit $m_1, m_2, m_3 \ldots$, ihre Abstände von der Drehungsachse mit $r_1, r_2, r_3 \ldots$, sodaß ihre Trägheitsmomente durch $m_1r_1^2, m_2r_2^2, m_3r_3^2 \ldots$ dargestellt sind. Da wir nun jedes einzelne Massenteilchen, ohne den [illegible] der Bewegung zu ändern, durch sein

Trägheitsmoment in der Entfernung 1 von der Drehungsachse ersetzen können, so erhalten wir für das Trägheitsmoment des Körpers, wenn wir dasselbe noch mit T bezeichnen, den Ausdruck

$$4)\ T = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots$$

Das Trägheitsmoment eines Körpers ist also gleich der Summe der Trägheitsmomente seiner materiellen Teile.

Mit Hülfe des Trägheitsmomentes vermögen wir nun die Abhängigkeit der Winkelbeschleunigung von der bewegenden Kraft und der fortzubewegenden Masse darzustellen. Dem Vorstehenden zufolge ist nämlich die in dem Abstande 1 von der Drehungsachse wirkende Kraft, welche in einem Körper mit dem Trägheitsmomente T die Winkelbeschleunigung w erzeugt, = Tw. Wird die Winkelbeschleunigung aber durch eine Kraft K bewirkt, welche in der Entfernung p von der Drehungsachse angreift, so ist die in der Entfernung 1 anzubringende Kraft, welche dieselbe Wirkung hervorruft, gleich dem Drehungsmomente der Kraft K, also = Kp. Wir erhalten somit die Gleichung

$$5)\ Kp = Tw$$

und daraus für die Winkelbeschleunigung den Wert

$$6)\ w = \frac{Kp}{T}.$$

Bei der Drehung eines Körpers um eine Achse ist also die Winkelbeschleunigung gleich dem Quotienten aus dem Drehungsmomente und dem Trägheitsmomente.

Das Trägheitsmoment eines Körpers kann im allgemeinen, wenn die Größe und Gestalt eines aus gleichförmiger Materie bestehenden Körpers und die Lage der Drehungsachse gegeben ist, durch Rechnung gefunden werden. Diese Rechnung bietet jedoch, wenn nur die Lehren der Elementarmathematik zu Hülfe genommen werden, mehrenteils nicht unerhebliche Schwierigkeiten dar. Wir beschränken uns auf das folgende, für die Lehre vom physischen Pendel nützliche Beispiel.

Es soll zunächst das Trägheitsmoment einer sehr dünnen Stange, welche um den einen Endpunkt drehbar ist, gefunden werden, wenn die Länge der Stange gleich s, die Masse derselben gleich M gegeben ist. — Denken wir uns die Länge der Stange in n gleiche Teile geteilt, dann ist die Masse eines jeden Teilchens $= \frac{M}{n}$; die Abstände dieser Teilchen von dem Drehungspunkte sind offenbar größer als

$$0, \frac{1}{n}s, \frac{2}{n}s, \frac{3}{n}s \ldots\ldots \frac{n-1}{n}s$$

und kleiner als

$$\frac{1}{n}s, \frac{2}{n}s, \frac{3}{n}s \ldots\ldots \frac{n}{n}s.$$

Bezeichnen wir das gesuchte Trägheitsmoment der ganzen Stange mit T, so ist folglich

$$T > M \cdot \frac{s^2}{n^3}(1 + 2^2 + 3^2 \ldots\ldots + (n-1)^2),$$

aber

$$T < M \cdot \frac{s^2}{n^3}(1 + 2^2 + 3^2 \ldots\ldots + n^2).$$

Nun ist bekanntlich (Arithm. Aufl. 12. §. 217, Anm.)

$$1 + 2^2 + 3^2 \ldots\ldots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

und

$$1 + 2^2 + 3^2 \ldots\ldots + (n-1)^2 = \frac{(n-1) \cdot n \cdot (2n-1)}{6},$$

also $$T > \frac{s^2 . M}{6}\left(1 - \frac{1}{n}\right)\left(2 - \frac{1}{n}\right)$$

und $$T < \frac{s^2 . M}{6}\left(1 + \frac{1}{n}\right)\left(2 + \frac{1}{n}\right).$$

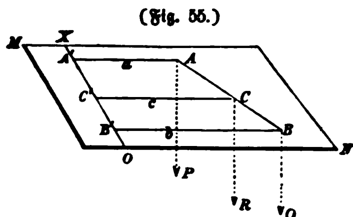
Je größer wir n annehmen, um so mehr nähert sich sowohl die obere wie die untere der beiden Grenzen, zwischen denen T liegt, dem Werte $\frac{1}{3}s^2M$, und da beide, wenn wir n unendlich groß annehmen, in diesen einen Wert zusammenfallen, so folgt hieraus

$$T = \frac{1}{3}s^2M.$$

Das Trägheitsmoment der um einen Endpunkt drehbaren Stange ist daher ebenso groß, als wenn der dritte Teil ihrer ganzen Masse in dem andern Endpunkte vereinigt, die Stange im übrigen aber ohne Schwere wäre.

Um einen weiteren Satz über das Trägheitsmoment, von welchem in der Lehre vom physischen Pendel ebenfalls Gebrauch gemacht werden wird, zu entwickeln, schicken wir noch folgendes voraus: Es sei MN (Fig. 55) eine Ebene, welche senkrecht auf den Richtungen der parallelen Kräfte P und Q steht und dieselben in A und B, so wie die Richtung der Resultierenden R in C schneidet; ferner sei OX eine beliebige in MN gezogene Linie, Achse, und AA' = a, BB' = b, CC' = c sämtlich senkrecht auf OX. Dann verhält sich, wie leicht zu sehen, BC : AC = b — c : c — a oder, da BC : AC = P : Q ist, P : Q = b — c : c — a; mithin ist cP — aP = bQ — cQ, also auch cP + cQ = aP + bQ oder c (P + Q) = aP + bQ oder

(Fig. 55.)



$$cR = aP + bQ.$$

Nennen wir das Produkt gebildet aus einer Kraft und der senkrechten Entfernung ihres Angriffspunktes von irgend einer festen Linie, Achse, das statische Moment dieser Kraft für diese Achse, so ergiebt sich aus der aufgestellten Gleichung der Satz:

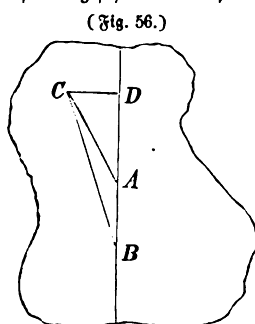
Das statische Moment der Resultierenden zweier parallelen Kräfte für irgend eine Achse ist gleich der Summe der statischen Momente der gegebenen Kräfte für diese Achse.

Was für zwei parallele Kräfte bewiesen ist, läßt sich ebenso für drei und mehrere zeigen, indem man zunächst zwei zu einer Resultierenden vereinigt, diese mit der dritten zu einer Resultierenden verbindet u. s. w. — Geht die Achse durch den Mittelpunkt der parallelen Kräfte, so wird der Abstand dieses Mittelpunktes von der Achse und dadurch auch das statische Moment der Resultierenden zu Null.

Für eine durch den Mittelpunkt mehrerer parallelen Kräfte gehende Achse ist also die Summe der statischen Momente dieser Kräfte gleich Null.

Nach §. 26, a kann nun der Schwerpunkt eines Körpers als der Mittelpunkt der parallelen Kräfte angesehen werden, mit denen die materiellen Teile desselben von der Erde angezogen werden, und da das statische Moment eines Körpers gleich der Summe der statischen Momente aller seiner materiellen Teile ist, so folgt hieraus, daß für eine durch den Schwerpunkt eines Körpers gehende Achse das statische Moment desselben gleich Null ist.

(Fig. 56.)



Dies vorausgeschickt, können wir folgenden Satz beweisen: — Wenn ein Körper um eine Achse gedreht wird, welche nicht durch den Schwerpunkt geht, so ist das Trägheitsmoment größer, als wenn die Drehung um eine zu jener parallele, aber durch den Schwerpunkt gehende Achse erfolgte, und zwar um das Produkt aus der Masse des Körpers und dem Quadrate des senkrechten Abstandes der parallelen Achsen von einander. — Wir betrachten zunächst irgend einen materiellen [illegible]ebe stehenden Körpers (Fig. 56)

und bezeichnen die Masse dieses Punktes mit m. Legen wir dann durch denselben eine Ebene senkrecht zu den beiden parallelen Achsen, welche die durch den Schwerpunkt gehende Achse in A, die andere in B schneidet, fällen wir ferner aus dem Punkt C auf die verlängerte Linie AB die senkrechte CD und setzen AB = a, AD = x, CD = y, dann ist das Trägheitsmoment des in C befindlichen materiellen Teilchens für die durch den Schwerpunkt gehende Achse gleich

$$m \cdot AC^2 = m \cdot x^2 + m \cdot y^2,$$

für die andere Achse aber gleich

$$m \cdot BC^2 = m(a + x)^2 + my^2.$$
$$= ma^2 + 2max + mx^2 + my^2.$$

Es unterscheidet sich daher das letztere Trägheitsmoment von dem ersteren um die Größe

$$ma^2 + 2max.$$

Denken wir uns dieselbe Betrachtung auf alle andern materiellen Teilchen unseres Körpers angewendet, bezeichnen wir die Massen derselben mit m', m'', m''' . . . , ihre Abscissen mit x', x'', x''' . . . , ferner das Trägheitsmoment des ganzen Körpers für die durch den Schwerpunkt gehende Achse mit T, für die andere ihr parallele Achse mit T^1, so erhalten wir die Gleichung

$$T^1 - T = a^2(m + m' + m'' + m''' + \ldots) + 2a(mx + m'x' + m''x'' + m'''x''' + \ldots).$$

Der Faktor $m + m' + m'' + m'''$ . . . ist offenbar der Masse des ganzen Körpers gleich, welche wir mit M bezeichnen wollen; der Faktor $mx + m'x' + m''x'' + m'''x''' + \ldots$ ist die Summe der statischen Momente der materiellen Teile des fraglichen Körpers für eine durch den Schwerpunkt gehende Achse und folglich gleich Null. Die zuletzt erhaltene Gleichung geht daher über in

$$T^1 = T + a^2M, \text{ w. z. b. w.}$$

Für eine um ihren Endpunkt drehbare Stange von der Länge s ist nach dem oben Entwickelten das Trägheitsmoment $T^1 = \frac{1}{3}s^2M$. Wird dieselbe Stange um ihren Schwerpunkt gedreht, dessen Abstand vom Endpunkte $= \frac{1}{2}s$ ist, so ergiebt sich ihr Trägheitsmoment T aus der Gleichung $\frac{1}{3}s^2M = T + \frac{1}{4}s^2M$, woraus $T = \frac{1}{12}s^2M$ folgt.

Die Sätze vom Trägheitsmomente finden auch eine besonders nützliche Anwendung auf das Schwungrad, welches die Bestimmung hat, eine Maschine vermöge seiner Trägheit in möglichst gleichmäßigem Gange zu erhalten, wenn die treibende Kraft abwechselnd stärker und schwächer wirkt oder Widerstände von wechselnder Größe zu überwinden sind. Indem das einmal in Bewegung gesetzte Rad infolge der Trägheit seiner Masse jeder Geschwindigkeitsänderung einen Widerstand entgegensetzt, werden solche Änderungen nach dem Obigen unter übrigens gleichen Verhältnissen um so geringer ausfallen, je größer das Trägheitsmoment des Rades ist. Die Hauptmasse des Rades wird daher möglichst weit von der Drehungsachse, nämlich in dem äußeren Ringe angebracht.

§. 39. Fall der Körper. Wirkt auf einen bewegten Körper eine Kraft anhaltend in der Richtung seiner Bewegung, so wird wegen der fortdauernden Wirkung der Kraft seine Geschwindigkeit beständig zunehmen und seine Bewegung folglich eine beschleunigte sein; und wenn die Kraft der Bewegung des Körpers entgegenwirkt, so wird seine Geschwindigkeit fortwährend abnehmen und seine Bewegung folglich eine verzögerte sein.

Von allen Kräften ist für uns die Schwere bei weitem die wichtigste. Wir betrachten hier zuerst diejenigen Bewegungen, welche durch die alleinige Wirkung der Schwere hervorgebracht werden.

Jeder sich selbst überlassene, nicht unterstützte Körper fällt, indem er durch seine Schwere nach dem Mittelpunkte der Erde hingezogen wird. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper fällt, hängt jedoch nicht allein von der Schwere, sondern

auch wesentlich von dem Widerstande der Luft ab. — Um größerer Einfachheit willen gehn wir von der Annahme aus, daß der fallende Körper sich im gänzlich leeren Raume bewegt und die Fallhöhe klein genug ist, daß wir die Zunahme, welche die Schwere des fallenden Körpers erfährt, indem er sich während des Fallens dem Mittelpunkte der Erde nähert, unberücksichtigt lassen können. Unter diesen Voraussetzungen gelten für den freien Fall folgende Gesetze:

1) Alle Körper sind gleich schwer, d. h. im gänzlich leeren Raume müssen alle Körper mit gleicher Geschwindigkeit fallen.

2) Die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers nimmt in gleichem Verhältnisse mit der Zeit des Falles zu.

3) Der von demselben durchlaufene Weg aber wächst wie das Quadrat dieser Zeit. — Ein Körper fällt im leeren Raume in der ersten Sekunde ungefähr 5 m (genauer 4,9 m, s. §. 40, c, Anm.), also in 2 Sek. 4 . 5 = 20, in 3 Sek. 9 . 5 = 45, in 4 Sek. 16 . 5 = 80 m. u. s. w.

4) Die am Ende der ersten Sekunde erlangte Geschwindigkeit ist doppelt so groß als der in der ersten Sekunde zurückgelegte Weg und beträgt also 10 m (genauer 9,8 m), d. h. der Körper würde, wenn er mit der am Ende der ersten Sek. erlangten Geschwindigkeit fortginge, ohne daß die Schwere weiter auf ihn einwirkte, in der zweiten Sek. 10 m zurücklegen. — Am Ende der zweiten Sek. beträgt die Geschwindigkeit des fallenden Körpers 2 . 10 = 20 m, am Ende der dritten Sek. 3 . 10 = 30 m u. s. w.

Diese Gesetze sind zuerst von Galilei (1602) aufgefunden und durch den Fall auf der schiefen Ebene nachgewiesen worden. Da nämlich die Körper, welche auf einer schiefen Ebene fallen, ebenfalls durch eine unveränderliche Kraft, welche sich nach §. 32 zu der ganzen Schwere wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge verhält, beschleunigt werden, so müssen sie dieselben Gesetze, wie die frei fallenden Körper befolgen, nur mit dem Unterschiede, daß diese Bewegung in dem angegebenen Verhältnisse langsamer erfolgt als beim freien Falle.

Im lufterfüllten Raume weicht die Bewegung frei fallender Körper wegen des Widerstandes der Luft von den angeführten Gesetzen um so mehr ab, je geringer das specifische Gewicht der Körper ist.

Da nach dem 3. Gesetze sich die Fallhöhen wie die Quadrate der Zeiten und nach dem 2. die Zeiten wie die Endgeschwindigkeiten verhalten, so müssen sich folglich auch

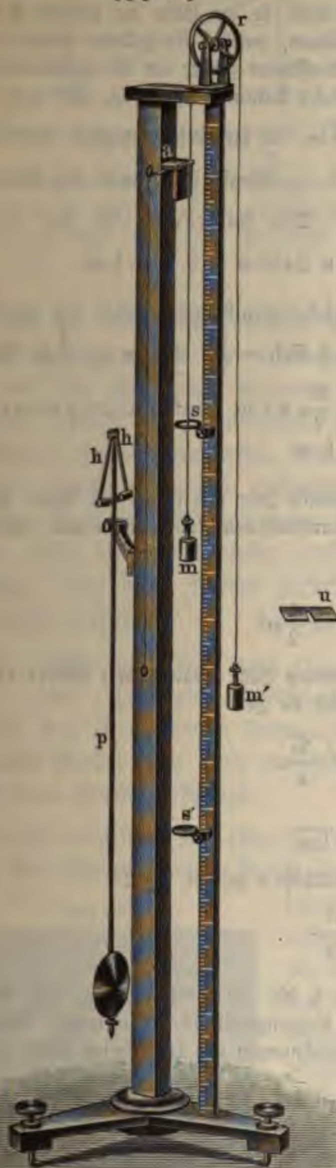
5) die Fallhöhen wie die Quadrate der Endgeschwindigkeiten, also die Endgeschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Fallhöhen verhalten.

Über die Begründung der obigen Gesetze führen wir folgendes an: Das erste Gesetz geht mit voller Entschiedenheit aus Pendelversuchen hervor (vergl. unten §. 40, c.); auch läßt sich dasselbe durch Versuche unter dem Recipienten der Luftpumpe und noch einfacher durch den folgenden Versuch bestätigen. Wenn man auf eine wagerecht gehaltene (möglichst große) Münze ein kleines Blättchen Papier legt und dann die Münze (aus mäßiger Höhe) fallen läßt, so gelangt das Blättchen gleichzeitig mit der Münze am Boden an, indem die vorangehende Münze den Widerstand der Luft überwindet.

Zum Nachweise des 2., 3. und 4. Gesetzes dient die Atwoodsche Fallmaschine. Dieselbe besteht aus einer in Centimeter geteilten Säule (Fig. 57), auf welcher ein leicht drehbares Rädchen r befestigt ist. Über das Rädchen läuft eine Schnur, die an ihren Enden zwei gleiche Gewichte m und m' trägt; an der Säule aber sind zwei Schieber s und s' angebracht, von denen der obere s eine Öffnung hat, durch welche die Schnur und das Gewi [illegible], während ein auf m gelegtes Über-

wicht, welches, wie aus der Figur u zu ersehen, entsprechend gestaltet ist, bei dem Durchgange des ewichtes m durch die Öffnung auf dem Schieber liegen bleibt. Zur Messung der Zeit dient ein seitwärts an der Säule aufgehängtes Pendel p, welches Sekunden angiebt, indem ein auf das Pendel gehängter Doppelhammer h, h bei jedem Hin- und Hergange an das Pendel anschlägt.

(Fig. 57.)



Da die Gewichte m und m′ sich gegenseitig im Gleichgewicht halten, so hat das Übergewicht u, wenn dasselbe auf das Gewicht m gelegt worden ist, außer seiner eigenen Masse auch noch die beiden Gewichte m und m′ fortzubewegen. Es wirkt hier also wie beim freien Falle eine konstante Kraft, nämlich die Schwere des Übergewichtes, nur mit dem Unterschiede, daß die Bewegung in demselben Maße langsamer vor sich geht, wie die fortzubewegende Masse größer ist, als diejenige des Übergewichtes.

Nehmen wir nun an, die Gewichte m und m′ seien so gewählt worden, daß die am Ende der ersten Sekunde erlangte Geschwindigkeit 12 cm beträgt. Erheben wir dann das Gewicht m bis zum obersten Teilstriche, stellen den Schieber s 6 cm tiefer, den Schieber s′ 12 cm unter diesen, so fällt bei aufgelegtem Übergewichte u das Gewicht m in der ersten Sekunde bis zu dem Schieber s und in der zweiten bis s′, indem nämlich nach abgehobenem Übergewichte u die Gewichte m und m′ ihre Bewegung mit der am Ende der ersten Sekunde erlangten Geschwindigkeit fortsetzen. Stellen wir ferner den Schieber s $6 . 4 = 24$, $6 . 9 = 54 \ldots$ cm unter den Anfangspunkt der Skale und den Schieber s′ $12 . 2 = 24$, $12 . 3 = 36 \ldots$ cm tiefer, so erreicht das bis oben angehobene Gewicht m, nachdem es mit dem Übergewicht u belastet und dann los gelassen worden ist, den Schieber s nach 2, 3 ... Sek. und 1 Sek. später den Schieber s′.

Um durch Rechnung die Größe des Übergewichtes zu finden, welches einer Masse von gegebener Größe eine bestimmte Beschleunigung erteilt, bezeichnen wir diese Beschleunigung mit g′, die Masse des treibenden Gewichtes mit u, die außerdem noch fortzubewegende Masse mit 2 m, sodaß also die gesamte Masse, welche in Bewegung zu setzen ist, $2m + u$ ist. Beachten wir nun, daß das Übergewicht durch seine eigene Schwere die Beschleunigung g (= 9,8 m) erlangen würde, und daß nach §. 36 bei gleichen Kräften sich die Beschleunigungen umgekehrt wie die in Bewegung ßten Massen verhalten, so ergiebt sich zur Bestimmung von u die Gleichung:

$$g' : g = u : 2m + u.$$

Ist z. B. in Centimeter und Gramm $g' = 12$, $2m = 484$, so erhalten wir, da $g = 980$ ist: $: 980 = u : 484 + u$, woraus folgt: $u = 6$.

Zur theoretischen Begründung der Fallgesetze führen wir folgendes an: Da die Schwere in jedem Zeitteilchen mit gleicher Stärke auf einen fallenden Körper beschleunigend einwirkt, so muß sie auch seine Geschwindigkeit in jeder Sekunde um gleichviel vermehren. Heißt daher die am Ende der ersten Sek. erlangte Geschwindigkeit g, so wird sie am Ende der zweiten Sek. = 2g, am Ende der dritten Sek. = 3g u. s. w. sein. — Der Raum, welchen der fallende Körper in irgend einer Sekunde, z. B. in der dritten wirklich zurücklegt, ist offenbar größer als die Geschwindigkeit am Anfange und kleiner als die Geschwindigkeit am Ende dieser Sekunde, also $> 2g$, aber $< 3g$; und er muß genau dem Mittel dieser beiden Größen $\frac{5}{2}g$ gleich sein, da die Geschwindigkeit während dieser Sekunde ganz gleichmäßig von 2g bis 3g gewachsen ist. — Ebenso findet man den Fallraum für die erste Sek. $= \frac{1}{2}g$, für die zweite $= \frac{3}{2}g$ u. s. w. Die Fallräume in den einzelnen Sekunden verhalten sich also wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 u. s. w.

Durch Addition der in den einzelnen Sekunden zurückgelegten Räume ergeben sich die Fallräume für die ganzen Zeiten; für die erste Sek. $= \frac{1}{2}g$, für 2 Sek. $= \frac{1}{2}g + \frac{3}{2}g = \frac{4}{2}g$, für 3 Sek. $= \frac{4}{2}g + \frac{5}{2}g = \frac{9}{2}g$, für 4 Sek. $= \frac{9}{2}g + \frac{7}{2}g = \frac{16}{2}g$ u. s. w. Diese Fallräume verhalten sich also wie die Quadratzahlen 1, 4, 9, 16 u. s. w.

Bezeichnen wir überhaupt die in Sekunden ausgedrückte Zeit mit t, die am Ende dieser Zeit erlangte Geschwindigkeit mit v, den in der ganzen Zeit durchlaufenen Raum mit s und den Fallraum in der ersten Sek. mit $\frac{1}{2}g$, so ist

$$1)\ v = gt \text{ und } 2)\ s = \frac{1}{2}gt^2.$$

Fragen wir, welche Geschwindigkeit ein von einer bestimmten Höhe herabfallender Körper erlangt, so ist s gegeben und v gesucht. Aus (2) ergiebt sich zunächst die Zeit

$$3)\ t = \sqrt{\frac{2s}{g}},$$

[illegible] dieses in (1) eingesetzt, giebt

$$4, a)\ v = \sqrt{2gs}.$$

[illegible] die Endgeschwindigkeit gegeben und die Fallhöhe s gesucht, so ist

$$4, b)\ s = \frac{v^2}{2g}.$$

[illegible] Falle auf der schiefen Ebene ist (nach §. 32) die Beschleunigung dem Verhältnis [illegible] zur Höhe und Länge, d. h. dem Sinus des Neigungswinkels proportional. Nennen wir [illegible] und im übrigen ähnlicher Bezeichnungen wie beim freien Falle, so ist

$$5)\ v' = gt \sin\alpha \text{ und } 6)\ s' = \frac{1}{2}gt^2 \sin\alpha.$$

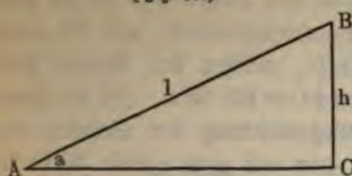
[illegible] die Frage, welche Geschwindigkeit ein Körper erlangt, wenn er einen [illegible] Ebene durchlaufen hat, so ergiebt sich zunächst aus (6) die Zeit

$$7)\ t = \sqrt{\frac{2s'}{g\sin\alpha}}$$

[illegible]

Bezeichnen wir die Länge der schiefen Ebene AB (Fig. 58) mit l, die Höhe BC mit h, ferner die Geschwindigkeit, welche ein Körper erlangt, wenn er die ganze Länge der schiefen Ebene durchlaufen hat, mit v' und die Geschwindigkeit, welche ein Körper erlangen würde, wenn er durch die Höhe BC gefallen wäre, mit v, so ist zufolge Gl. (8)

(Fig. 58.)



$$v' = \sqrt{2gl \sin \alpha}$$

und vermöge Gleichung (4)

$$v = \sqrt{2gh}.$$

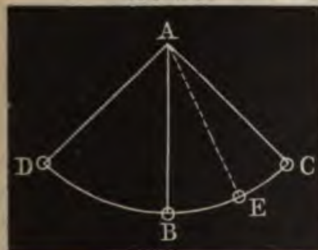
Nun ist aber $l \sin \alpha = h$, folglich $v = v'$, d. h. ein Körper erlangt beim Falle auf der schiefen Ebene, wenn er die Länge derselben AB durchlaufen hat, die nämliche Geschwindigkeit wie ein frei fallender Körper, welcher durch die Höhe derselben BC gefallen ist.

§. 40, a. Mathematisches Pendel. Eine zweite durch die Schwere hervorgebrachte Bewegung ist die schwingende Bewegung eines Pendels. Unter einem Pendel versteht man einen schweren Körper, welcher in irgend einem Punkte, der jedoch nicht gerade der Schwerpunkt sein darf, so aufgehängt ist, daß er sich um diesen Punkt frei herumdrehen kann. Ein solcher Körper kann, wie wir wissen, nur dann ruhen, wenn sein Schwerpunkt lotrecht unter dem Aufhängepunkte liegt. Aus dieser Lage gebracht und dann sich selbst überlassen, kehrt er vermöge seiner Schwere nicht bloß in dieselbe zurück, sondern überschreitet sie nach dem Trägheitsgesetze, kehrt dann wieder zurück u. s. w., wodurch die schwingende Bewegung des Pendels entsteht.

Wir gehen auch hier von einer Annahme, nämlich vom mathematischen Pendel, aus. Hierunter versteht man eine gerade Linie, welche sich um einen Endpunkt frei herumdrehen kann, und deren anderer Endpunkt allein schwer ist. Ein solches Pendel stellt man annähernd dar, wenn man eine kleine Metallkugel an einem feinen Faden aufhängt.

Denken wir uns, AB (Fig. 59) sei ein mathematisches in A aufgehängtes Pendel und B der einzige schwere Punkt desselben. Aus der lotrechten Lage AB in die schiefe Lage AC gebracht und dann sich selbst überlassen, wird das Pendel vermöge der Schwere in die Lage AB zurückkehren und der schwere Endpunkt den Bogen CB durchlaufen. Wir können diese Bewegung mit dem Falle auf der schiefen Ebene vergleichen, indem wir uns den Bogen BC als aus unendlich vielen, unendlich kleinen geraden Stücken bestehend denken; doch findet der wesentliche Unterschied statt, daß beim Falle auf der schiefen Ebene der Neigungswinkel fortwährend der nämliche bleibt, während derselbe hier von C nach B beständig abnimmt und in B selbst verschwindet. Die Geschwindigkeit des Pendels wird daher zwar beständig, aber nicht gleichförmig, sondern um so langsamer zunehmen, je mehr sich der schwere Punkt dem Punkte B nähert, wo seine Geschwindigkeit gar keinen Zuwachs mehr erhält. Demnach muß

(Fig. 59.)



die Geschwindigkeit in B am größten sein; vermöge seiner Trägheit bewegt sich nun aber der schwere Punkt über B hinaus und steigt in dem Bogen BD in die Höhe. Da die Schwere seiner Bewegung jetzt genau ebenso entgegenwirkt, als sie vorhin beschleunigend wirkte, so muß der äußerste Punkt D, welchen der schwere Punkt erreicht, ebenso hoch über B liegen wie C, also Bogen BC = BD sein. Ist der schwere Punkt in D angekommen, hat er vermöge der Gegenwirkung der Schwere seine ganze Geschwindigkeit verloren, und er durchläuft nun auf ganz gleiche Weise den Bogen CD in der entgegengesetzten Richtung von D nach C u. s. w. Ein mathematisches Pendel würde daher, wenn wir ein solches darzustellen vermöchten, fortgesetzt und bis zu gleichen Höhen abwechselnd hin und her schwingen. — Man nennt die Hälfte des Bogens CD, die zwischen dem höchsten und tiefsten Punkte liegt, also den Bogen BC (oder BD), die Schwingungsweite, die Bewegung von einer Ruhelage (AC) zur andern (AD) eine Schwingung und die zu einer Schwingung erforderliche Zeit die Schwingungszeit oder Schwingungsdauer.

Von dem mathematischen Pendel gelten die beiden folgenden Gesetze:

1) Bei dem nämlichen Pendel ist für kleine Schwingungsweiten (unter 10°) die Dauer der Schwingungen von der Größe derselben (fast) unabhängig.

Wenn man mehrere Minuten lang die Schwingungen zählt, welche ein aufgehängtes Bleikügelchen macht, so findet man, daß es in der letzten Minute fast ebensoviele Schwingungen vollendet wie in der ersten, obschon die Schwingungsbogen in der ersten Minute erheblich größer waren als in der letzten; es muß daher die größeren Bogen auch mit einer größeren Geschwindigkeit durchlaufen haben. — Wenn nämlich ein Pendel einmal von B bis C (Fig. 59), das andere Mal nur von B bis E aufgehoben wird, so ist die Richtung seiner Bewegung in C stärker gegen den Horizont geneigt als in E; es wird also auch in C mehr durch die Schwere beschleunigt als in E und bewegt sich daher, wenn es von B bis C aufgehoben wird, mit größerer Geschwindigkeit, als wenn man es nur bis E aufgehoben hätte. Hierdurch wird es möglich, daß ein bis C gehobenes Pendel den größeren Bogen BC fast in derselben Zeit durchläuft wie ein bis E gehobenes Pendel den kleineren Bogen BE.

2) Die Schwingungszeiten zweier Pendel verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen. Ein 4-, 9-, 16mal längeres Pendel schwingt 2-, 3-, 4mal langsamer; wenn man ein Bleikügelchen eine Minute lang schwingen läßt, dann ebenso, nachdem man den Faden auf den 4., 9., 16. Teil verkürzt hat, so macht das Pendel jetzt in der Minute 2-, 3-, 4mal soviel Schwingungen als vorher.

Das zweite Gesetz läßt sich in folgender Art verdeutlichen: Nach §. 39 verhalten sich beim freien Fall die Fallräume wie die Quadrate der Fallzeiten; folglich verhalten sich die Fallzeiten wie die Quadrat [illegible] n Fallräumen. Dasselbe muß auch bei zwei gleich geneigten schiefe [illegible] da für den Fall auf



(Fig. 60.)

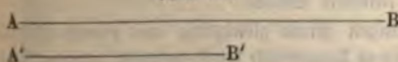
der schiefen Ebene die nämlichen Gesetze wie für den freien Fall gelten; und es dürfte daher dieses Gesetz auch noch auf die Bewegungen zweier um gleiche Schwingungsweiten aufgehobenen Pendel anzuwenden sein. Es werden sich also bei denselben die (halben und daher auch die ganzen) Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Schwingungsweiten AB und ab (Fig. 60) verhalten. Diese Bogen verhalten sich aber wie die Radien CA und Ca, d. h. wie die Pendellängen; folglich müssen sich auch die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus diesen Längen verhalten.



(Fig. 61.)

Umständlicher ist die nähere Begründung des ersten Gesetzes. Ist B (Fig. 61) der schwere Punkt eines um C drehbaren und um den Winkel ACB von der lotrechten Linie AC abweichenden Pendels, und wird durch B an den Bogen AB die Tangente BF gezogen, so ist der Winkel, unter welchem diese Tangente gegen den Horizont geneigt ist, EBF = ACB, daher (nach §. 39, Anm.) die Kraft, mit welcher das Pendel im Punkte B durch die Schwere beschleunigt wird, = g sin ACB. Da nun die Sinus kleiner Winkel annähert in demselben Verhältnis zu einander stehen wie die zugehörigen Bogen (s. Trigonom. §. 16), so können wir, sofern die Schwingungsweite AB nur klein ist, die bewegende Kraft dem bis zum tiefsten Punkte noch zu durchlaufenden Bogen AB proportional setzen; sie nimmt in demselben Verhältnisse ab, in welchem sich dieser Weg vermindert. Nun läßt sich folgender Satz erweisen:

(Fig. 62.)



Wenn ein Körper k von einem Punkte B nach einem anderen Punkte A (Fig. 62) in der Art durch eine Kraft zur Bewegung angetrieben wird, daß in jedem Punkte der Bahn die Kraft dem noch bis A zu durchlaufenden Wege proportional ist, so ist die Zeit, in welcher der Körper k den Weg AB durchläuft, von der Größe dieses Weges unabhängig.

Um die Richtigkeit dieses Satzes darzuthun, wollen wir uns einen zweiten Körper k' denken, welcher durch eine dem nämlichen Gesetze folgende Kraft angetrieben wird, den Weg A'B' (Fig. 62) zu durchlaufen, und annehmen, daß die Länge dieses Weges A'B' gleich der halben Länge des Weges AB ist und daß beide Körper k und k' ihre Bewegung gleichzeitig, jener von B, dieser von B' aus beginnen. Da nach der obigen Voraussetzung die auf den Körper k in B einwirkende Kraft doppelt so groß ist als die Kraft, durch welche der Körper k' in B' angetrieben wird, so wird nach einem unendlich kleinen Zeitteilchen der Körper k einen doppelt so großen Weg durchlaufen und eine doppelt so große Geschwindigkeit erlangt haben als der Körper k'. Da hiernach beim Beginn des zweiten Zeitteilchens der Körper k doppelt soweit von dem Endpunkt seiner Bahn entfernt ist und folglich auch doppelt so stark beschleunigt wird als der Körper k', da jener überdies bereits eine doppelt so große Geschwindigkeit besitzt als dieser, so wird der Körper k auch in dem zweiten Zeitteilchen einen doppelt so großen Weg wie der Körper k' zurücklegen, und da dasselbe ebenso von jedem folgenden Zeitteilchen gilt, so wird der Körper k in der nämlichen Zeit die doppelt so große Bahn AB durchlaufen wie der Körper k' den kürzeren Weg A'B'. — In ganz ähnlicher Weise würde der Beweis zu führen sein, wenn die Wegestrecken A'B' und AB nicht in dem Verhältnisse 1 : 2, sondern in irgend *einem anderen Verhältnisse* zu einander stehen sollten.

Da von dem Pendel die Bedingungen des soeben erwiesenen Satzes nur annähernd erfüllt werden, so sind auch die Schwingungszeiten ungleicher Bogen nicht genau gleich; vielmehr ist die Schwingungsdauer eines größeren Bogens etwas größer als die eines kleineren Bogens.

Bezeichnen wir die Länge eines Pendels mit l, die Zeit einer Schwingung mit t, so ist bei sehr kleinen Schwingungsweiten, wie hier nicht näher bewiesen werden kann, näherungsweise: $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, wo g die Beschleunigung eines freifallenden Körpers durch die Schwere bedeutet.

§. 40, b. Physisches Pendel. Da in einem physischen Pendel jedes, auch das kleinste Teilchen Schwere hat, so kann man sich dasselbe als aus unzähligen mathematischen Pendeln von ungleicher Länge bestehend denken. Die dem Aufhängepunkte näheren Teilchen haben zufolge Gſtz. 2 d. vorig. §. das Bestreben, rascher zu schwingen als die entfernteren; da sie aber alle mit einander fest verbunden und daher gleichzeitig zu schwingen genötigt sind, so werden die näheren durch die entfernteren in ihrer Bewegung verzögert, die entfernteren aber durch die näheren Punkte beschleunigt. Zwischen ihnen muß es daher einen Punkt geben, welcher weder beschleunigt noch verzögert wird, und der daher ganz ebenso schwingen würde, wenn er der einzige schwere Punkt des physischen Pendels wäre. Dieser Punkt verhält sich also genau wie der schwere Punkt eines mathematischen Pendels und wird der **Schwingungspunkt** genannt. Sein Abstand vom Aufhängepunkte **heißt die reduzierte Länge des physischen Pendels.** Man kann die reduzierte Länge eines physischen Pendels sehr nahe dadurch finden, daß man zugleich mit demselben ein kleines Bleikügelchen an einem feinen Faden schwingen läßt und diesen Faden so lange verkürzt oder verlängert, bis beide Pendel in gleichen Zeiten gleich viel Schwingungen vollenden.

Wenn man eine gleichförmige Stange um das eine Ende schwingen läßt, so fällt der Schwingungspunkt ein Drittel vom andern Ende.

Soll ein mathematisches Pendel seine Schwingungen genau gleichzeitig mit einem physischen Pendel ausführen, so müssen beide Pendel offenbar in jedem Augenblicke der Bewegung gleiche Winkelbeschleunigung haben. Es sei nun T' das Trägheitsmoment (§. 38), M die Masse und a der Abstand des Schwerpunktes von der Drehungsachse eines physischen Pendels. Wird dasselbe in eine von der Senkrechten abweichende Lage gebracht, in welcher die Verbindungslinie des Schwerpunktes mit der Drehungsachse den Winkel α mit der Vertikalen bildet, so erteilt die Schwere, wenn wir uns die ganze Masse des Pendels im Schwerpunkte vereinigt denken, diesem eine Beschleunigung $= g \sin \alpha$. Es ist daher die im Schwerpunkte angreifende Kraft, welche in dem betrachteten Augenblicke das Pendel antreibt, $= Mg \sin \alpha$, das Moment der Kraft in Bezug auf die Drehungsachse also $= aMg \sin \alpha$, folglich nach §. 38, Gl. 6 die Winkelbeschleunigung

$$1)\quad w = \frac{aMg \sin \alpha}{T'}.$$

Wenn andererseits ein mathematisches Pendel von der Länge l ebenfalls die Winkelbeschleunigung w erhalten soll, so ist die Beschleunigung für den schweren Punkt desselben $= wl$. Diese Beschleunigung ist aber auch, da sie durch die Schwere beim Ausschlagswinkel α bewirkt wird, $= g \sin \alpha$. Mithin erhalten wir die Gleichung

$$2)\quad wl = g \sin \alpha$$

und daraus für die Winkelbeschleunigung des mathematischen Pendels den Wert

$$3)\quad w = \frac{g \sin \alpha}{l}.$$

[illegible] muß also

$$4)\quad \frac{g \sin \alpha}{l} = a\ldots$$ [illegible]

Daraus ergiebt sich aber für die Länge des mathematischen Pendels der Ausdruck

$$5)\ l = \frac{T'}{a\,.\,M}.$$

Die reduzierte Länge eines physischen Pendels ist also gleich dem Trägheitsmomente desselben dividiert durch das Produkt aus der Masse und dem Abstande des Schwerpunktes von der Drehungsachse.

In §. 38, Anm. haben wir ferner die Gleichung erhalten: $T' = T + a^2M$. Setzen wir diesen Wert in Gl. 5 ein, so verwandelt sich dieselbe in

$$6)\ l = a + \frac{T}{aM}.$$

Da hiernach immer $l > a$ ist, so liegt folglich **der Schwingungspunkt eines physischen Pendels allemal tiefer als der Schwerpunkt.**

Bezeichnen wir den Abstand des Schwingungspunktes vom Schwerpunkte mit a', so ist

$$7)\ l = a + a'.$$

Setzen wir diesen Wert von l in die Gl. 6 ein, so erhalten wir weiter

$$8)\ aa' = \frac{T}{M}.$$

Zufolge §. 38, Anm. ist das Trägheitsmoment eines um den Schwerpunkt drehbaren Stabes $= \frac{1}{12}s^2M$, wenn s die Länge und M die Masse des Stabes bezeichnet, also vermöge Gl. 8 $aa' = \frac{1}{12}s^2$.

(Fig. 63.)



Lassen wir die Stange um den einen Endpunkt schwingen, so ist $a = \frac{1}{2}s$, folglich $a' = \frac{1}{6}s$ und $l = a + a' = \frac{2}{3}s$.

Da nach Gl. 8 das Produkt aa' eine konstante Größe ist, so fällt die Summe $a + a'$ dann am kleinsten aus, wenn $a = a'$ ist.*) **Die reduzierte Länge eines physischen Pendels wird also am kleinsten, das Pendel schwingt am raschesten, wenn der Aufhängepunkt und der Schwingungspunkt gleichen Abstand vom Schwerpunkte haben.** Wird der Aufhängepunkt dem Schwerpunkte mehr genähert oder von demselben entfernt, so schwingt das Pendel in beiden Fällen langsamer. (Vgl. auch Algebr. Analysis S. 122.)

Da sich in den Gl. 7 und 8 die Größen a und a' verwechseln lassen, so folgt hieraus: **Die reduzierte Länge und also auch die Schwingungsdauer eines physischen Pendels erfährt keine Änderung, wenn der Schwingungspunkt und der Aufhängepunkt mit einander vertauscht werden.** — Auf diesen Satz gründet sich das **Reversionspendel**, welches zur genauen Abmessung der Länge eines Pendels angewendet wird. Dasselbe besteht aus einer Stange aa' (Fig. 63), an welcher in einiger Entfernung von den beiden Enden zwei feste Schneiden b und b', um welche die Stange schwingen kann, und ganz nahe unter dem Rücken der einen Schneide b' ein schweres Gewicht, ferner zwischen den beiden Schneiden zwei kleine verschiebbare Gewichte c und c' angebracht sind. Wenn man nun das Pendel abwechselnd um die eine und um die andere Schneide schwingen läßt und die Laufgewichte c und c' so lange verschiebt, bis das Pendel um beide Schneiden in der nämlichen Zeit, etwa einer Minute, gleich viel Schwingungen macht, so giebt der Abstand der beiden Schneiden von einander die Länge dieses Pendels an.

*) Setzen wir nämlich (a und a' werden beide als positiv vorausgesetzt) das konstante Produkt $aa' = m^2$, so ist $a' = \frac{m^2}{a}$, also $a + a' = a + \frac{m^2}{a} = \frac{a^2 + m^2}{a} = \frac{a^2 + m^2 - 2am + 2am}{a} = \frac{(a-m)^2 + 2am}{a} = \frac{(a-m)^2}{a} + 2m$. Dieser Ausdruck wird, da $\frac{(a-m)^2}{a}$ stets positiv ist, dann am kleinsten, wenn $\frac{(a-m)^2}{a}$ verschwindet. Dies ist der Fall bei $a = m$; wegen $a' = \frac{m^2}{a}$ ist dann aber $a' = a$.

§. 40, c (40, b). **Anwendungen des Pendels.** Durch das Pendel werden wir in den Stand gesetzt, den Satz zu erweisen, daß alle Körper gleich schwer sind, d. h. ohne den Widerstand der Luft mit gleicher Geschwindigkeit fallen würden. Newton brachte an dem Pendel statt einer massiven Linse eine hohle Büchse an, welche er mit verschiedenartigen Stoffen füllte. Würden die angewandten Stoffe von der Erde ungleich stark angezogen, so würde auch das Pendel je nach dem Stoffe, welchen die Linse desselben enthielt, von einer größeren oder keineren Kraft angetrieben worden sein, also auch demgemäß schneller oder langsamer haben schwingen müssen. Newton fand, daß die Schwingungszeit für alle Stoffe dieselbe blieb. Derartige Versuche sind später in vervollkommneter Weise wiederholt worden und haben zu dem nämlichen Ergebnis geführt.

Pendelbeobachtungen haben ferner ergeben, daß die Schwere am Äquator am kleinsten ist und nach den Polen hin zunimmt. Dasselbe Pendel vollendet nämlich am Äquator in der gleichen Zeit weniger Schwingungen als in höheren Breiten; man muß das Pendel am Äquator verkürzen, wenn es ebenso schnell schwingen soll als bei uns.

Ebenso hat man gefunden, daß die Schwere auf hohen Bergen geringer ist als im Thale. — Wiewohl nun hiernach ein Körper am Äquator langsamer als in höheren Breiten und auf hohen Bergen langsamer als im Thale fallen muß, so sind doch die Unterschiede in diesen Bewegungen viel zu gering, als daß sie sich bei frei fallenden Körpern nachweisen ließen.

Da an dem nämlichen Orte der Erde die Schwingungen desselben Pendels in genau gleichen Zeiten geschehen, so eignet sich dasselbe vorzüglich zum genauen Zeitmaße. — Die Länge des Sekundenpendels, d. h. eines Pendels, welches zu einer Schwingung (einem Hin- oder einem Hergange) genau 1 Sekunde Zeit gebraucht, beträgt beinahe 1 m; dieselbe nimmt mit der Annäherung an den Äquator etwas ab, mit der Annäherung an die Pole etwas zu.

(Fig. 64.)



Bei den Pendeluhren, deren Einrichtung Fig. 64 im wesentlichen zeigt, wird die Drehung der Zeiger gewöhnlich durch ein Gewicht g bewirkt, welches an einer um eine Welle w geschlungenen Schnur aufgehängt ist. Ohne Verbindung mit einem Pendel würde sich die Welle infolge der Wirkung des Gewichtes mit zunehmender Geschwindigkeit bewegen müssen. Nun ist aber hinter der Welle ein Pendel p angebracht und mit demselben (vermittelst der gabelförmigen Vorrichtung v und der Achse a) ein ankerförmiger Doppelhaken nn' verbunden, welcher bei jedem Hin- und Hergange des Pendels mit seinen Enden in die Lücken eines an der Welle festsitzenden Zahnrades r eingreift und dadurch die Drehung der Welle für einen Augenblick hindert. Infolge dieser Ankerhemmung vermag sich das Zahnrad bei jeder Doppelschwingung (einem Hin- und Hergange) nur um einen Zahn fortzubewegen; es ist also gezwungen, sich (stoßweise) gleichmäßig zu drehen.

Indem das Pendel jedesmal, wenn der Doppelhaken nn' einen Zahn des Rades r losläßt, von demselben vermöge des dieses Rad zur Umdrehung antreibenden Gewichtes einen kleinen Stoß erhält, wird ihm hierdurch Ersatz für die Verluste, welche

es durch die Reibung und den Widerstand der Luft erleidet, gewährt und so die schwingende Bewegung des Pendels fortdauernd bis zum Ablaufen des Gewichtes unterhalten.

Bei unsern Pendeluhren sind die Welle w, um welche die Gewichtsschnur geschlungen ist und das Rad r, in dessen Zähne der Doppelhaken nn′ eingreift, nicht, wie dies um größerer Einfachheit willen in der Figur dargestellt ist, unmittelbar, sondern durch einige Räder und Triebe miteinander verbunden. — Um den Gang der Uhr regulieren zu können, ist die Einrichtung so getroffen, daß sich die Linse l an der Pendelstange p höher und niedriger stellen läßt.

Bei den Taschenuhren geschieht die Bewegung des Räderwerkes nicht durch ein Gewicht, sondern durch den Druck, welchen eine starke elastische Stahlfeder im aufgerollten Zustande ausübt.

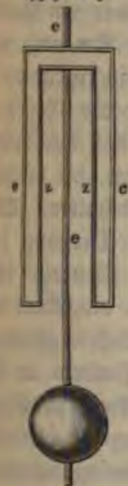
(Fig. 65.)



Zur Regulierung dieser Bewegung aber dient die sogenannte Unruhe. Dieselbe (Fig. 65) besteht aus einem kleinen Schwungrädchen und einer sehr feinen elastischen Feder, die mit dem einen Ende an der Achse a des Rädchens, mit dem andern an einer Stelle b des Gehäuses befestigt ist. Indem sich hier bei einem Anstoß des Rädchens die Feder vermöge ihrer Elasticität abwechselnd zusammenzieht und wieder ausdehnt, vollführt das Rädchen Schwingungen, deren Dauer (innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität) wie beim Pendel von der Schwingungsweite unabhängig ist. Als Hemmung dient gewöhnlich die schon oben beschriebene Ankerhemmung. — Die Pendeluhren übertreffen jedoch die Taschenuhren bei weitem in der Regelmäßigkeit des Ganges.

Da die Stange eines physischen Pendels in der Wärme sich verlängert, so muß dasselbe bei höherer Temperatur etwas langsamer schwingen als bei niederer. Um diesen störenden Einfluß der Wärme zu beseitigen, bringt man an Uhren, welche einen genau gleichmäßigen Gang haben sollen, solche Pendel an, deren reduzierte Länge bei einer Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur keine Änderung erleidet. Dergleichen Pendel heißen Kompensationspendel. Wir beschreiben hier nur das Rostpendel. Bei demselben ist die Stange aus zwei Metallen von sehr verschiedener Ausdehnung durch die Wärme, z. B. Zink und Eisen, ungefähr in der Art, wie dieses die Fig. 66 zeigt, zusammengesetzt, so daß bei der Ausdehnung des einen Metalls z die Linse sich um ebensoviel hebt, als sie durch die Ausdehnung des anderen e sich senkt. — Auch an der Unruhe der Taschenuhren wird, wenn dieselben einen sehr genauen Gang haben sollen, eine auf der ungleichen Ausdehnung zweier Metalle beruhende Kompensation angebracht.

(Fig. 66.)



Um die Länge des Sekundenpendels zu bestimmen, zählt man die Schwingungen eines Reversionspendels (s. d. vorig. §.), dessen genaue Länge man zunächst ermittelt hat. Aus dieser läßt sich dann die Länge des Sekundenpendels herleiten vermöge des im §. 40, a angegebenen Gesetzes, daß sich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen, also die Pendellängen wie die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten. Da nun die Schwingungszeiten zweier Pendel sich offenbar umgekehrt verhalten wie die Anzahl der Schwingungen, welche dieselben in gleicher Zeit, z. B. in einer Minute vollenden, so verhalten die Längen zweier Pendel sich umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszahlen. Bezeichnen wir daher mit l die Länge des Reversionspendels, mit n die Zahl der Schwingungen, welche dasselbe in der Minute macht, und mit x die Länge des Sekundenpendels, welches in der Minute 60 Schwingungen vollendet, so ergiebt sich die gesuchte Länge x aus der Proportion

$$x : l = n^2 : 60^2.$$

Derartige Bestimmungen haben ergeben, daß die Länge des Sekundenpendels am Meeresspiegel unter dem Äquator = 0,991 m, in 45° Breite = 0,994 m, am Pole = 0,996 m beträgt. Allgemein ist am Meeresspiegel in der Breite φ die Länge des Sekundenpendels in Metern = $0{,}991 + 0{,}0051 \sin \varphi^2$.

Durch die Kenntnis der Länge des Sekundenpendels gelangt man auch zu einer genauen Bestimmung der Fallbeschleunigung g (§. 39). Ist nämlich in der Formel des vorig. §. $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ gegeben und wird t = 1 gesetzt, so ergiebt sich daraus

$$g = \pi^2 l.$$

Die Fallbeschleunigung ist hiernach am Meeresspiegel unter dem Äquator = 9,780 m, in 45° Breite = 9,806 m, am Pole = 9,831 m. Bezeichnen wir den Wert der Schwere am Äquator mit g_0, so läßt sich der Wert für eine andere Breite φ nach der Formel $g = g_0 (1 + 0{,}0052 \sin \varphi^2)$ bestimmen.

Bezeichnen wir für zwei Orte der Erdoberfläche die ungleichen Größen der Schwere mit g und g', die ungleichen Zeiten, welche das nämliche Pendel an diesen Orten zu einer Schwingung gebraucht, mit t und t', die ungleichen Anzahlen der Schwingungen, welche dasselbe in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Minute, an diesen Orten vollendet, mit n und n', endlich die Länge des Pendels mit l, so ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ und } t' = \pi \sqrt{\frac{l}{g'}},$$

folglich

$$g : g' = t'^2 : t^2 = n^2 : n'^2,$$

indem offenbar $t' : t = n : n'$ ist. Es verhalten sich also die ungleichen Größen der Schwere zweier Orte umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten und direkt wie die Quadrate der Schwingungszahlen des nämlichen Pendels.

Die Pendeluhr ist von dem holländischen Physiker Huyghens 1658 erfunden; demselben verdanken wir auch die Regulierung der Taschenuhren. — Die ungleiche Größe der Schwere an der Erdoberfläche ist zuerst von dem französischen Astronomen Richer beobachtet. Derselbe fand 1672 zu Cayenne (5° nördlich vom Äquator), daß die aus Paris mitgebrachte Pendeluhr täglich $2^1/_2$ Minute zurückblieb; er mußte das Pendel um beinahe 3 mm verkürzen, damit die Uhr wieder richtig ging.

§. 40, d (40, c). **Fortsetzung. Foucaults Pendelversuch.** Foucault in Paris hat zuerst das Pendel dazu benutzt, um einen direkten Beweis für die Achsendrehung der Erde zu liefern. Um dieses zu begreifen, hängen wir ein Pendel an einem beweglichen Gestelle vermittelst eines feinen Fadens in der Art auf, wie dieses Fig. 67 zeigt, setzen dann dasselbe in irgend einer Richtung, z. B. senkrecht auf die Ebene des Gestelles, in Schwingungen und drehen dieses so, daß der Querbalken und die Grundfläche die wagerechte, die Seitenbalken aber die senkrechte Stellung beibehalten. Wir werden dann bemerken, daß trotz der Drehung des Gestelles die Schwingungsebene des Pendels ihre ursprüngliche Lage beibehält. War z. B. die Ebene des Gestelles ursprünglich von Osten nach Westen gerichtet, und erfolgten die Schwingungen des Pendels in der Richtung von Norden nach Süden, also senkrecht zur Ebene des Gestelles, so wird nach einer Drehung des Gestelles um 90° die Ebene desselben mit der Schwingungsebene des Pendels, welche unverändert die Lage von Norden nach Süden beibehält, zusammenfallen, bei weiterer Drehung um 90° dieselbe wieder senkrecht durchschneiden u. s. w.

(Fig. 67.)



Denken wir uns nun an dem Nordpole der Erde ein Gebäude aufgerichtet, an der Decke desselben ein langes Pendel aufgehängt und in Schwingungen versetzt, so wird vermöge der Achsendrehung der Erde sich das Gestell innerhalb 24 Stunden um 360°, in einer Stunde also um 15° in derselben Art wie bei dem eben beschriebenen Versuche drehen, die Schwingungsebene des Pendels dagegen ihre Lage im Raume unverändert beibehalten. Da wir aber von der Achsendrehung der Erde, an welcher wir selbst teilnehmen, nichts bemerken, so würde einem Beobachter am Pole die Schwingungsebene des Pendels sich in der entgegengesetzten Richtung, also im Sinne

den Punkten F, G, H, I ... angekommen sein, da sich die Wege eines freifallenden Körpers wie die Quadrate der Zeiten verhalten. Ziehen wir nun durch diese Punkte parallele Linien zur Richtung des Wurfes AE und durch die Punkte B, C, D, E ... dieser Linie die Senkrechten abwärts, so sind die entstehenden Schnittpunkte K, L, M, N ... diejenigen Punkte, in denen sich der Körper nach 1, 2, 3, 4 ... Sek. thatsächlich befindet. — Für einen schiefen Wurf würde sich die Zeichnung in entsprechender Weise herstellen lassen.

Bezeichnen wir die ursprüngliche Geschwindigkeit eines geworfenen Körpers mit c, die in Sekunden ausgedrückte Zeit mit t, den in dieser Zeit durchlaufenen Raum mit s, die erlangte Geschwindigkeit mit v, ferner den Raum, welchen ein frei fallender Körpern in der ersten Sekunde zurücklegt, mit $\frac{1}{2}g$, so ist für einen senkrecht niederwärts geworfenen Körper

$$1)\ v = c + gt \text{ und } 2)\ s = ct + \frac{1}{2}gt^2$$

und für einen senkrecht in die Höhe geworfenen Körper

$$3)\ v = c - gt \text{ und } 4)\ s = ct - \frac{1}{2}gt^2.$$

So lange $t < \frac{c}{g}$ ist, ist v positiv, und der Körper steigt in die Höhe; ist $t > \frac{c}{g}$, so wird v negativ und der Körper fällt. Ist $t = \frac{c}{g}$, so wird $v = 0$, und der Körper hat dann seine größte Höhe erreicht. Um diese zu bestimmen, setzen wir den Wert $t = \frac{c}{g}$ in Gl. 4 ein und finden so die größte Höhe $= \frac{c^2}{2g}$ (vergl. §. 39, Gl. 4, b).

Bildet die Richtung des Wurfes mit dem Horizonte einen schiefen Winkel $DAF = \alpha$ (Fig. 68), und bezeichnen wir für irgend einen Punkt E auf der Bahn des geworfenen Körpers die in wagerechter und lotrechter Richtung durchlaufenen Räume AF und EF mit x und y, so ist $AD = ct$, $AF = ct \cos\alpha$, $DF = ct \sin\alpha$ und $DE = \frac{1}{2}gt^2$, folglich

$$5)\ x = ct \cos\alpha \text{ und } 6)\ y = ct \sin\alpha - \frac{1}{2}gt^2.$$

Der Wert von y verschwindet für $t = 0$, d. h. am Anfange des Wurfes, und für $t = \frac{2c \sin\alpha}{g}$, d. h. am Ende des Wurfes, wenn der geworfene Körper in C angekommen ist. Dieser letzte Wert von t giebt also die ganze Dauer des Wurfes an. Setzen wir denselben in (5) ein, so erhalten wir die Weite des Wurfes

$$AC = \frac{2c^2 \sin\alpha \cos\alpha}{g} = \frac{c^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

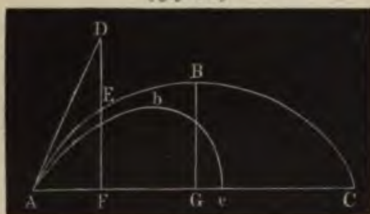
Die Weite des Wurfes ist folglich am größten, wenn $2\alpha = 90^0$ oder $\alpha = 45^0$ ist. — Da der geworfene Körper in der einen Hälfte seiner Bahn ebenso steigt, wie er in der anderen fällt, so muß er nach der halben Dauer des ganzen Wurfes, also für $t = \frac{c \sin\alpha}{g}$ die größte Höhe erreichen. Dieser Wert von t in (6) eingesetzt giebt $BG = \frac{c^2 \sin\alpha^2}{2g}$, d. h. zufolge des oben über den senkrecht in die Höhe gerichteten Wurf Ausgeführten: der Körper steigt ebenso hoch als ein mit der Geschwindigkeit $c \sin\alpha$ in die Höhe geworfener Körper.

§. 42, a. Schwungkraft. Beschreibt ein Körper eine krummlinige Bahn, so muß dem Trägheitsgesetze zufolge eine Kraft vorhanden sein, welche denselben fortdauernd von dem geraden Wege ablenkt. Ein Körper, welchen man an einem mit der Hand gehaltenen Faden im Kreise herumschwingt, wird durch die Festigkeit des Fadens gezwungen, in jedem Augenblicke der Bewegung aus der eingeschlagenen Richtung gegen die Hand, den Mittelpunkt des Kreises, hin abzuweichen. Wenn

Ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper steigt so lange, bis seine Geschwindigkeit durch die Gegenwirkung der Schwere gänzlich aufgehoben ist, und er fällt dann ganz in derselben Art, in welcher er vorher gestiegen ist. Ohne den Widerstand der Luft müßte er an der Stelle, von der er ausging, mit der nämlichen Geschwindigkeit wieder ankommen, mit welcher er in die Höhe geworfen wurde. Der Widerstand der Luft bewirkt jedoch hierin einen großen Unterschied.

2) Wenn die Richtung des Wurfes mit der Richtung der Schwere einen Winkel bildet, so beschreibt der geworfene Körper eine krumme Linie ABC (Fig. 68), welche man eine Parabel nennt. Man findet den Ort E, welchen der geworfene Körper nach irgend einer bestimmten Zeit in seiner Bahn erreicht, wenn man zunächst den Weg AD zeichnet, welchen er vermöge seiner ursprünglichen Geschwindigkeit ohne alle Einwirkung der Schwere durchlaufen haben würde, und von D aus auf einer lotrechten Linie DF die Strecke DE aufträgt, welche ein frei fallender Körper in derselben Zeit zurücklegt.

(Fig. 68.)



Die wagerechte Linie AC heißt die Weite, die senkrechte Höhe BG des höchsten Punktes die Höhe des Wurfes, der Winkel DAC wird der Elevationswinkel genannt. Die Höhe des Wurfes ist natürlich am größten, wenn der Elevationswinkel ein rechter ist. Die Weite des Wurfes ist aber am größten, wenn der Elevationswinkel 45° beträgt.

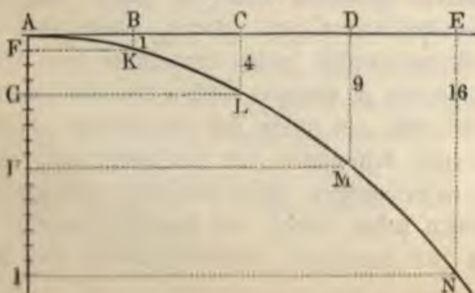
Wenn aus einem erhöhten Punkte B ein Körper in wagerechter Richtung geworfen wird, so beschreibt derselbe eine halbe Parabel BC.

Wegen des Widerstandes der Luft weicht die wirkliche Bahn geworfener Körper, welche man die ballistische Kurve nennt, von der parabolischen Gestalt bedeutend ab. Während die Parabel ABC durch den höchsten Punkt B in zwei ganz gleiche Hälften AB und BC geteilt wird, ist bei der ballistischen Kurve der Schenkel bc bedeutend kürzer und steiler als der Schenkel Ab.

Aus der vorstehenden Darstellung folgt, daß man den Lauf eines Geschützes oder einer Büchse, um einen bestimmten Punkt zu treffen, etwas höher richten muß, und zwar um so mehr, je weiter das Ziel entfernt ist, was durch die verschiedene Stellung des Visiers bewirkt wird.

Betreffs der Zeichnung einer Wurflinie bemerken wir noch folgendes. Stellt etwa AB (Fig. 69) die Anfangsgeschwindigkeit eines (in wagerechter Richtung) geworfenen Körpers dar und ist AB = BC = CD = DE . . ., so würde sich der Körper, wenn die Schwere nicht auf ihn einwirkte, infolge seiner Trägheit nach 1, 2, 3, 4 . . . Sek. beziehungsweise in den Punkten B, C, D, E . . . befinden. Stellt ferner auf der durch A gezogenen Senkrechten AF den Weg eines freifallenden Körpers in der ersten Sekunde dar, und verhält sich AF : AG : AH : AI : . . . = 1 : 4 : 9 : 16 . . ., so würde der Körper unter dem alleinigen Einflusse der Schwere nach 1, 2, 3, 4 . . . Sek. beziehungsweise in

(Fig. 69.)



den Punkten F, G, H, I ... angekommen sein, da sich die Wege eines freifallenden Körpers wie die Quadrate der Zeiten verhalten. Ziehen wir nun durch diese Punkte parallele Linien zur Richtung des Wurfes AE und durch die Punkte B, C, D, E ... dieser Linie die Senkrechten abwärts, so sind die entstehenden Schnittpunkte K, L, M, N ... diejenigen Punkte, in denen sich der Körper nach 1, 2, 3, 4 ... Sek. thatsächlich befindet. — Für einen schiefen Wurf würde sich die Zeichnung in entsprechender Weise herstellen lassen.

Bezeichnen wir die ursprüngliche Geschwindigkeit eines geworfenen Körpers mit c, die in Sekunden ausgedrückte Zeit mit t, den in dieser Zeit durchlaufenen Raum mit s, die erlangte Geschwindigkeit mit v, ferner den Raum, welchen ein frei fallender Körpern in der ersten Sekunde zurücklegt, mit $\frac{1}{2}g$, so ist für einen senkrecht niederwärts geworfenen Körper

$$1)\ v = c + gt \text{ und } 2)\ s = ct + \frac{1}{2}gt^2$$

und für einen senkrecht in die Höhe geworfenen Körper

$$3)\ v = c - gt \text{ und } 4)\ s = ct - \frac{1}{2}gt^2.$$

So lange $t < \frac{c}{g}$ ist, ist v positiv, und der Körper steigt in die Höhe; ist $t > \frac{c}{g}$, so wird v negativ und der Körper fällt. Ist $t = \frac{c}{g}$, so wird $v = 0$, und der Körper hat dann seine größte Höhe erreicht. Um diese zu bestimmen, setzen wir den Wert $t = \frac{c}{g}$ in Gl. 4 ein und finden so die größte Höhe $= \frac{c^2}{2g}$ (vergl. §. 39, Gl. 4, b).

Bildet die Richtung des Wurfes mit dem Horizonte einen schiefen Winkel $DAF = \alpha$ (Fig. 68), und bezeichnen wir für irgend einen Punkt E auf der Bahn des geworfenen Körpers die in wagerechter und lotrechter Richtung durchlaufenen Räume AF und EF mit x und y, so ist $AD = ct$, $AF = ct \cos \alpha$, $DF = ct \sin \alpha$ und $DE = \frac{1}{2}gt^2$, folglich

$$5)\ x = ct \cos \alpha \text{ und } 6)\ y = ct \sin \alpha - \frac{1}{2}gt^2.$$

Der Wert von y verschwindet für $t = 0$, d. h. am Anfange des Wurfes, und für $t = \frac{2c \sin \alpha}{g}$, d. h. am Ende des Wurfes, wenn der geworfene Körper in C angekommen ist. Dieser letzte Wert von t giebt also die ganze Dauer des Wurfes an. Setzen wir denselben in (5) ein, so erhalten wir die Weite des Wurfes

$$AC = \frac{2c^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{c^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Die Weite des Wurfes ist folglich am größten, wenn $2\alpha = 90^0$ oder $\alpha = 45^0$ ist. — Da der geworfene Körper in der einen Hälfte seiner Bahn ebenso steigt, wie er in der anderen fällt, so muß er nach der halben Dauer des ganzen Wurfes, also für $t = \frac{c \sin \alpha}{g}$ die größte Höhe erreichen. Dieser Wert von t in (6) eingesetzt giebt $BG = \frac{c^2 \sin \alpha^2}{2g}$, d. h. zufolge des oben über den senkrecht in die Höhe gerichteten Wurf Ausgeführten: der Körper steigt ebenso hoch als ein mit der Geschwindigkeit $c \sin \alpha$ in die Höhe geworfener Körper.

§. 42, a. Schwungkraft. Beschreibt ein Körper eine krummlinige Bahn, so muß dem Trägheitsgesetze zufolge eine Kraft vorhanden sein, welche denselben fortdauernd von dem geraden Wege ablenkt. Ein Körper, welchen man an einem mit der Hand gehaltenen Faden im Kreise herumschwingt, wird durch die Festigkeit des Fadens gezwungen, in jedem Augenblicke der Bewegung aus der eingeschlagenen Richtung gegen die Hand, den Mittelpunkt des Kreises, hin abzuweichen. Wenn

ein Eisenbahnzug eine Krümmung durcheilt, so ist es der Widerstand der festen Bahnwand, welcher als eine von außen nach innen gerichtete Kraft wirksam ist.

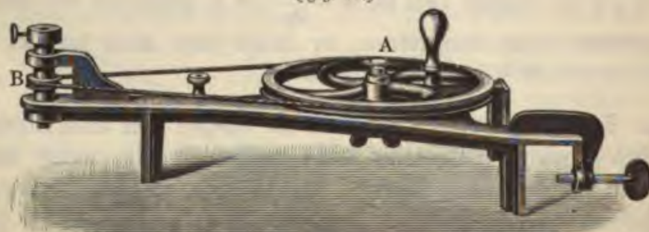
Andererseits ruft eine jede Richtungsänderung in dem bewegten Körper einen Widerstand hervor, welcher der ablenkenden Kraft genau gleich, aber entgegengesetzt gerichtet ist. So fühlen wir deutlich an der Hand, mit welcher wir den an einem Faden befestigten Körper im Kreise herumschwingen, einen nach außen gerichteten Gegenzug, welcher die Spannung des Fadens bewirkt und so stark werden kann, daß der Faden zerreißt. Dieser Widerstand, welchen ein bewegter Körper einer Richtungsänderung entgegensetzt, wird Schwungkraft oder Centrifugalkraft genannt. Wie zahlreiche Erfahrungen lehren, wächst die Schwungkraft unter übrigens gleichen Umständen mit der Geschwindigkeit und ist bei gleicher Geschwindigkeit um so größer, je größer die Masse des bewegten Körpers und je stärker die Krümmung der durchlaufenen Bahn ist. Der Faden, von welchem der im Kreise geschwungene Körper gehalten wird, zerreißt um so leichter, je größer das Gewicht des Körpers ist und je schneller die Bewegung erfolgt. Bei einem Wagen, welcher im raschen Laufe um eine Ecke biegt, wächst die Gefahr, nach außen hin umzustürzen, mit der Schnelligkeit der Fahrt und der Schärfe der Biegung.

Dreht sich ein Körper um eine Achse, so vollenden sämtliche Teilchen des Körpers eine Umdrehung in der nämlichen Zeit, indem dieselben eine um so größere Geschwindigkeit haben, je weiter sie von der Drehungsachse abstehen. Dementsprechend wirkt die Schwungkraft, welche senkrecht zur Achse und nach außen gerichtet ist, auf ein Teilchen um so stärker, je weiter es von der Umdrehungsachse entfernt ist. Überhaupt verhalten sich die Schwungkräfte (bei gleichförmigen Kreisbewegungen), wenn die Umlaufszeiten gleich sind, wie die Radien.

Von Erscheinungen, welche auf der Schwungkraft beruhen, führen wir noch die folgenden an: Zunächst gehört hierher das bekannte Kunststück mit einem Glase Wasser, welches man in einen Reifen stellt, der so rasch umgeschwungen wird, daß weder das Glas aus dem Reifen fällt noch das Wasser ausfließt. — Beim schnellen Laufen oder Reiten im Kreise sind wir genötigt, den Oberleib nach dem Mittelpunkte des Kreises hin zu neigen, bis die Schwere der nach außen treibenden Schwungkraft das Gleichgewicht hält. — Bei Eisenbahnen erhalten die Schienen an der äußeren Seite einer Krümmung eine etwas höhere Lage als an der inneren, während starke Krümmungen ganz vermieden werden müssen. — Die Abplattung der Erde an den Polen erklärt sich als Wirkung der durch die Achsendrehung der Erde hervorgerufenen Schwungkraft, indem man annimmt, daß die Erde sich früher in einem feurig flüssigen Zustande befunden hat.

Zur Anstellung von Versuchen über die Schwungkraft dient die Schwungmaschine (Fig. 70).

(Fig. 70.)



Dieselbe besteht aus einem großen Rade A und einer kleinen Rolle B, deren parallel gestellte Achsen auf einem starken Gestelle befestigt sind. Durch Drehung des Rades A mit Hülfe eines Handgriffes

kann die Rolle B, mit deren Achse sich die zum Versuch bestimmten Apparate fest verbinden lassen, in sehr rasche Drehung versetzt werden, indem die Bewegung vermittelst eines um beide sich schlingenden Schnurlaufes übertragen wird.

Von den zahlreichen Versuchen, welche sich mit dieser Maschine ausführen lassen, heben wir die folgenden hervor.

(Fig. 71.)



1) Schüttet man in ein glockenförmiges Glasgefäß (Fig. 71) Quecksilber und Wasser und setzt dasselbe dann auf der Schwungmaschine in rasche Drehung, so bewegt sich das schwerere Quecksilber nach denjenigen Stellen des Gefäßes, welche die größte Entfernung von der Drehungsachse haben und bildet dort einen glänzenden Ring, während sich das leichtere Wasser der Drehungsachse näher oberhalb und unterhalb des Quecksilbers lagert.

(Fig. 72.)



2) Auf einem dünnen Stabe (Fig. 72), welcher in ein passendes Gestell so eingesetzt ist, daß er um eine durch seine Mitte gehende senkrechte Achse schnell gedreht werden kann, sind zwei durch einen Faden verbundene Kugeln von ungleichem Gewichte leicht verschiebbar. Werden die beiden Kugeln bei gespanntem Faden so gestellt, daß ihre Abstände von der Mitte (nach entgegengesetzten Seiten) sich umgekehrt verhalten wie ihre Gewichte, befindet sich z. B. die schwerere Kugel bei doppeltem Gewichte in der halben Entfernung, so halten sich die Schwungkräfte beider Kugeln, wie schnell auch gedreht werden mag, das Gleichgewicht. Wird dagegen der Abstand der einen Kugel von der Mitte etwas vergrößert, so fliegt diese Kugel, indem sie die andere mit sich zieht, bei zunehmender Drehung an das zunächst gelegene Ende des Stabes. — Dieser Versuch zeigt, daß bei gleicher Umlaufszeit die Schwungkräfte sich wie die Produkte aus Masse und Radius verhalten.

3) Bilden mehrere dünne elastische Messingreifen (Fig. 73) ein Kugelgerippe, welches um den gemeinsamen Durchmesser als Achse drehbar ist, so platten sich die Reifen bei rascher Drehung in der Richtung dieses Durchmessers ab, während ein senkrecht dazu stehender Durchmesser sich verlängert. — Der vorstehende Versuch verdeutlicht die Entstehung der abgeplatteten Gestalt der Erde.

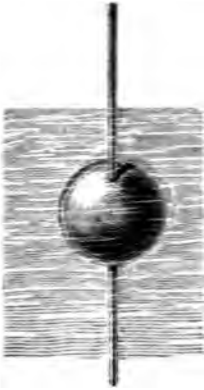
(Fig. 73.)



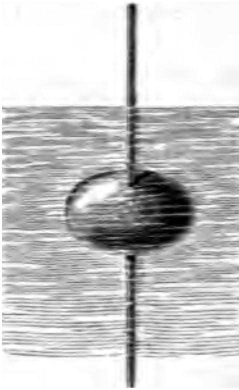
Noch besser geschieht dies durch den folgenden Versuch. — Wird auf die in §. 10, Anm. angegebene Weise in einer Mischung von Wasser und Spiritus eine Ölkugel zum Schwimmen gebracht, und befindet sich die Flüssigkeit in einem Kasten mit Glaswänden, in welchem eine kleine eiserne Scheibe so angebracht ist, daß sich dieselbe um eine durch ihre Mitte gehende Achse drehen läßt, so kann man vermittelst eines Drahtes die Ölkugel nach der eisernen Scheibe derartig hinbewegen, daß diese von der Ölkugel ganz umhüllt wird (Fig. 74). Wird dann die Scheibe um ihre Achse mit allmählich zunehmender Geschwindigkeit gedreht, so plattet sich die Kugel zuerst in der Richtung ihres senkrechten Durchmessers ab (Fig. 75) und breitet sich schließlich zu einem Ringe (Fig. 76) aus.

In den Gewerben findet die Schwungkraft mannigfache Verwendung. So beruht auf ihrer Wirkung die Einrichtung der Centrifugen. Es sind dies cylindrische Kessel, welche siebartig durchlöcherte Seitenwände besitzen und mit großer Geschwindigkeit um ihre Achse gedreht werden können. Sie werden z. B. in Waschanstalten zum Trocknen der Wäsche benutzt, indem bei rascher Umdrehung die in die Kessel gelegte Wäsche an die Wände gepreßt und das Wasser durch die feinen Öffnungen hinausgeschleudert wird. Ebenso dienen sie in den Zuckerfabriken zur Trennung des krystallisierten Zuckers von den flüssigen Bestandteilen des aus den Rüben gewonnenen Zuckersaftes.

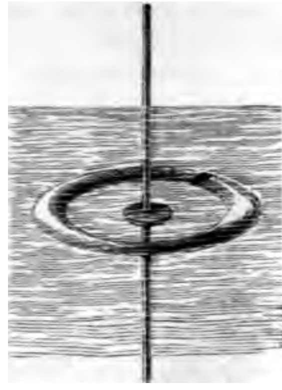
(Fig. 74.)



(Fig. 75.)



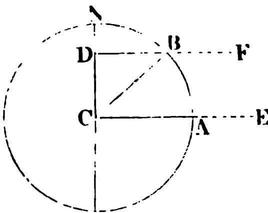
(Fig. 76.)



Der Centrifugalregulator wird weiter unten bei der Dampfmaschine (§. 242) beschrieben werden.

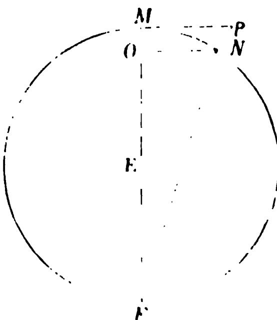
Wie schon in §. 21, a hervorgehoben, ist die als Wirkung der Schwungkraft anzusehende Abplattung der Erde ein Grund dafür, daß die Schwere vom Äquator nach den Polen hin zunimmt. — Ein anderer Grund dieser Erscheinung liegt in der durch die Achsendrehung der Erde hervorgerufenen Schwungkraft selbst. Dieselbe wirkt nämlich am Äquator der Schwere gerade entgegen, ist aber an den Polen gleich Null. Ist C (Fig. 77) der Mittelpunkt der Erde, N der Nordpol, A ein Punkt des Äquators, so hat die Schwere in diesem Punkte die Richtung von A nach C, die Schwungkraft aber die entgegengesetzte Richtung von A nach E. Nach höheren Breiten hin nimmt die Verminderung der Schwere durch die Schwungkraft ab, teils weil die Punkte der Oberfläche hier einen kleineren Abstand von der Achse haben und infolgedessen die Schwungkraft geringer ist, teils deshalb, weil die Schwungkraft der Schwere nicht mehr direkt entgegen wirkt. Ist B ein Punkt eines beliebigen Parallelkreises und BD der Radius dieses Kreises, so ist die Schwungkraft daselbst im Verhältnisse von BD : AC kleiner als am Äquator. Ferner wirkt sie in der Richtung der Verlängerung von DB von B nach F, die Schwere dagegen von B nach C. Die letztere wird daher nur durch diejenige Komponente der Schwungkraft vermindert, welche mit CB gleichgerichtet ist, während die senkrecht dazu wirkende Komponente keinen Einfluß auf die Schwere ausübt.

(Fig. 77.)



Zu einem mathematischen Ausdrucke für die Größe der Schwungkraft gelangen wir durch die folgende Betrachtung: — Zunächst beachten wir, daß die Schwungkraft dieselbe Größe hat, wie diejenige Kraft, welche den Körper zwingt, die krummlinige Bahn zu durcheilen. Ferner können wir stets ein sehr kleines Stück der krummen Bahn als den Bogen eines Kreises, des Krümmungskreises, auffassen. — Um nun die Größe der Schwungkraft in einem bestimmten Punkte zu berechnen, denken wir uns den Körper mit der in diesem Punkte vorhandenen Geschwindigkeit den Umfang des Krümmungskreises durcheilen. Ist MN (Fig. 78) ein sehr kleiner Bogen, welchen der mit der Geschwindigkeit v um E im Kreise sich bewegende Körper von M aus in dem ebenfalls sehr kleinen Zeitteilchen t zurücklegt, so ist MN = vt. Würde sich aber der Körper von M aus lediglich infolge seiner Trägheit bewegen, so würde er in der Richtung der durch M gezogenen Tangente fortschreiten und in der Zeit t bis zum Punkte P gelangen. Fäl[illegible] N aus die Senkrechte NO auf ME, so giebt MC[illegible] welche der Körper durch die ablenkende [illegible] der Tangente fortgezogen

(Fig. 78.)



worden ist. Nehmen wir ferner an, daß der bewegte Körper unter dem Einflusse der ablenkenden Kraft die Beschleunigung p erlangen würde, so ist nach §. 39, Anm., Gl. 2, der Weg

$$1)\ MO = \frac{1}{2} pt^2.$$

Ferner können wir den Bogen MN, da wir denselben sehr klein angenommen haben, füglich mit der Sehne MN vertauschen. Dann ist aber, wenn wir noch den Punkt N mit dem Endpunkte F des Durchmessers $MF = 2r$ verbinden, nach einem bekannten geometrischen Satze $MN^2 = MO \,.\, MF$ oder, da $MN = vt$ ist,

$$2)\ MO = \frac{v^2t^2}{2r}.$$

Durch Verbindung der Gleich. 1 und 2 erhalten wir $\frac{1}{2} pt^2 = \frac{v^2t^2}{2r}$ und daraus für die Größe der Beschleunigung den Wert

$$3)\ p = \frac{v^2}{r}.$$

Hieraus ergiebt sich nach §. 36, wenn der bewegte Körper die Masse m besitzt, für die ablenkende Kraft, mithin auch für die ihr an Größe gleiche Schwungkraft, welche wir mit C bezeichnen wollen, der Wert

$$4)\ C = m \frac{v^2}{r}.$$

Die Schwungkraft ist also der Masse des bewegten Körpers und dem Quadrate seiner Geschwindigkeit direkt, dem Radius aber umgekehrt proportional.

Führen wir bei einer gleichförmigen Bewegung im Kreise anstatt der konstanten Geschwindigkeit die Umlaufszeit ein, welche wir mit T bezeichnen wollen, so erhalten wir, da die Geschwindigkeit $v = \frac{2r\pi}{T}$ ist, durch Einsetzung dieses Wertes in die Gl. 3 und 4

$$5)\ p = \frac{4\pi^2 r}{T^2}, \quad 6)\ C = m \,.\, \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

Die Schwungkräfte verhalten sich daher bei gleichen Umlaufszeiten wie die Radien, bei gleichen Radien umgekehrt wie die Quadrate der Umlaufszeiten.

Das Vorstehende setzt uns in den Stand, die Verminderung, welche die Schwere durch die aus der Achsendrehung der Erde entspringende Schwungkraft erleidet, zu berechnen. Die Verminderung der durch die Schwere bewirkten Beschleunigung beim freien Falle ist nämlich am Äquator nach Gl. 5 $p = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$, wenn r den Radius der Erde, T aber die Umlaufszeit von 24 Stunden = 86 400 Sekunden bedeutet.*) Daraus ergiebt sich leicht, wenn wir noch beachten, daß $2r\pi = 40\,000\,000$ m ist (§. 6), $p = 0{,}034$ m. Da nun die Fallbeschleunigung am Äquator nach §. 40, c, Anm. $g_0 = 9{,}780$ m beträgt, so macht die durch die Achsendrehung am Äquator bewirkte Verminderung der Schwere $\frac{p}{g_0} = \frac{1}{288}$ derselben aus. Die Schwere würde daher am Äquator von der Schwungkraft vollständig überwunden werden, wenn die letztere 288 mal so groß, mithin nach Gl. 5 das Quadrat der Umdrehungszeit der Erde 288 mal so klein wäre oder die Erde sich $\sqrt{288} = 17$ mal so schnell um ihre Achse drehte.

Bezeichnen wir ferner für einen Ort B (Fig. 77) in der Breite $BCA = \varphi$ die in der Richtung BF wirkende Schwungkraft mit q, so ist nach Gl. 5

$$q : p = DB : CA = \cos \varphi,$$

woraus sich

$$q = p \cos \varphi$$

ergiebt. Nun ist aber diejenige Komponente der Schwungkraft, welche der in der Richtung von BO wirkenden Schwerkraft entgegen gerichtet ist, nach §. 24, b, Anm. $= q \cos \varphi = p \cos \varphi^2$, mithin der Zuwachs, welchen die Schwere durch die Abnahme der entgegenwirkenden Schwungkraft erfährt $= p - p \cos \varphi^2 = p\,(1 - \cos \varphi^2) = p \sin \varphi^2$.

*) Genau genommen ist T = 24 Stunden Sternzeit = 86 164 Sekunden mittlerer Zeit. (Siehe Math. Geogr. §. 21, Aufl. 3, 1889.)

(Ferner Physik §. 276, Aufl. 18, 1892.)

Im obigen ergab sich die Zunahme, welche die Schwere vom Äquator bis zu den Polen durch Verminderung der entgegenwirkenden Schwungkraft erfährt, $= \frac{1}{288} = 0{,}0035$ der ganzen Schwere. in liefert aber die durch Berechnung der Fallbeschleunigung für verschiedene Breiten in §. 40, c, im. angegebene Formel, welche aus genauen Pendelbeobachtungen abgeleitet worden ist, als verhältnis-ißige Zunahme der Schwere vom Äquator bis zu den Polen (für $\varphi = 90^0$) den Wert 0,0052. ie wirkliche Zunahme der Schwere ist also um $0{,}0017 = \frac{1}{588}$ größer als die aus der Einwirkung der hwungkraft berechnete. Dieser zweite Teil, um welchen die Schwere vom Äquator nach den Polen i zunimmt, rührt von der abgeplatteten Gestalt der Erde her.

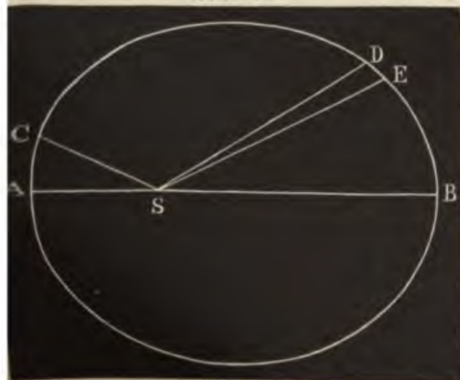
*§. 42, b. **Bewegung der Himmelskörper.** Wirkt auf einen durch irgend ne Ursache in Bewegung gesetzten Körper A (Fig. 79) eine Kraft, welche beständig ch dem nämlichen, außerhalb der Bewegungsrichtung liegenden Punkte S gerichtet , so beschreibt der bewegte Körper um diesen Punkt eine krummlinige Bahn, indem in jedem Augenblicke der Bewegung aus der eingeschlagenen Richtung, welche er folge seiner Trägheit inne zu halten strebt, nach dem festen Punkte hin abgelenkt ird. Man nennt eine solche Bewegung eine Centralbewegung. Der feste Punkt S, n welchen die Bewegung stattfindet, heißt der Mittelpunkt der Bewegung; die raft aber, welche nach diesem Punkte hin gerichtet ist, wird Centripetalkraft nannt. Eine Linie AS, durch welche man sich den bewegten Körper mit dem ittelpunkte der Bewegung verbunden denkt, führt den Namen Leitstrahl oder adius vektor.

Die großartigsten in der Natur vorkommenden Beispiele von Centralbewegungen eten die Bewegungen der Himmelskörper. Es umkreisen die Planeten die Sonne, e Nebenplaneten die Hauptplaneten in geschlossenen Bahnen. Über diese Bewegungen it Kepler (1610) die folgenden Gesetze ermittelt:*)

1) Die Planeten bewegen sich in Ellipsen, in deren einem Brenn-inkte S (Fig. 79) die Sonne steht.

2) Sie durchlaufen diese Bahnen nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit, sondern rascher in der Sonnennähe A, langsamer in der Sonnenferne B; überhaupt nimmt ihre Geschwindigkeit zu und ab, sowie sie sich in ihrer elliptischen Bahn der Sonne nähern und von derselben entfernen, und zwar in der Art, daß ihre Leitstrahlen in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreiben. — Sind daher AC und DE zwei Bogen, welche der Planet in gleichen Zeiten durchläuft, so ist der Ausschnitt ASC = DSE und folglich Bogen AC > DE.

(Fig. 79.)



*) S. des Verfassers Math. Geographie, [illegible] Aufl. 1889. §. 39. Siehe ferner Physik, 18. Aufl., 1[illegible] 293.

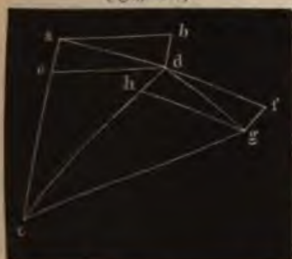
3) **Die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten sich wie die Kuben der mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne.** So verhalten sich z. B. beim Merkur und Mars die mittleren Entfernungen von der Sonne (nahe) wie 1 : 4, also die Kuben hiervon wie 1 : 64, und die Umlaufszeiten (nahe) wie 1 : 8, also die Quadrate hiervon ebenfalls wie 1 : 64.

Diese drei Gesetze, welche ebenso von den Nebenplaneten bei ihrem Umlaufe um den Hauptplaneten befolgt werden, sind sämtlich nur Folgerungen des allgemeinen **Gravitationsgesetzes** (s. §. 22).

Das **erste** Keplersche Gesetz läßt sich nur mit Hülfe der höheren Analysis ableiten.

Das **zweite Gesetz**, welches überhaupt für jede Centralbewegung gilt, nach welchem Gesetze auch immer die anziehende Kraft wirken mag, ergiebt sich aus folgender Überlegung: Ist ab (Fig. 80) der Weg, welchen der bewegte Körper vermöge der in a erlangten Geschwindigkeit zufolge des Trägheitsgesetzes in einem unendlich kleinen Zeitteilchen durchlaufen würde, ae der Raum, durch welchen die vom Centrum c aus wirkende Kraft ihn in diesem Zeitteilchen führen würde, so giebt die Diagonale ad des Parallelogramms abde den Weg an, welchen der Körper wirklich durchläuft, indem wir für die unendlich klein angenommene Dauer der Bewegung diesen Weg als eine gerade Linie ansehen können. Da ferner aus demselben Grunde die Bewegung von a nach e und infolgedessen auch die von a nach d als eine gleichförmige betrachtet werden kann, so würde der bewegte Körper ohne die Einwirkung der Centralkraft in dem nächsten, ebenso kleinen Zeitteilchen in der nämlichen Richtung um eine ad gleiche Linie df sich fortbewegen, und wenn dh den Weg anzeigt, durch welchen die Centralkraft ihn in diesem Zeitteilchen führen würde, so ist die Diagonale dg des Parallelogramms dfgh der wirkliche Weg des Körpers in dem zweiten, dem ersten gleichen Zeitteilchen. Da wir df = ad gemacht haben, so ist auch, wenn wir uns cf gezogen denken, $\triangle$ ade = dfc, und da fg parallel cd ist, $\triangle$ dfc = dgc, folglich $\triangle$ adc = dgc. Es haben daher die in den gleichen Zeiten von dem Leitstrahle beschriebenen Flächenräume gleiche Größe.

(Fig. 80.)



Das **dritte** Gesetz läßt sich aus dem **Newton**schen Gravitationsgesetze ableiten, wenn man beachtet, daß die anziehende Kraft der Sonne den entgegengesetzt wirkenden Schwungkräften der Planeten genau gleich ist. Bezeichnen wir die Kräfte, mit welchen die Sonne zwei Planeten anzieht, deren mittlere Entfernungen von der Sonne r und r′ sind, mit S und S′, so verhält sich zunächst nach dem Gravitationsgesetze

$$S : S' = r'^2 : r^2.$$

Nehmen wir ferner der Einfachheit halber an, daß sich die Planeten um die Sonne in Kreisen bewegen, von denen die meisten Planetenbahnen doch nur um ein sehr Geringes abweichen, so verhalten sich nach Gl. 5 in der Anmerkung zu dem vorigen §.

$$S : S' = \frac{r}{T^2} : \frac{r'}{T'^2}.$$

Aus diesen beiden Gleichungen ergiebt sich

$$r'^2 : r^2 = \frac{r}{T^2} : \frac{r'}{T'^2}.$$

oder

$$T^2 : T'^2 = r^3 : r'^3.$$

Umgekehrt kann man unter Zugrundelegung des dritten **Kepler**schen Gesetzes aus der Größe der Schwungkräfte das Verhältnis der anziehenden Kräfte der Sonne berechnen. Diesen Weg schlug **Newton** bei Auffindung des Gravitationsgesetzes ein. — Er prüfte ferner die Richtigkeit desselben, indem er die Kraft, mit welcher die Erde einen Körper an ihrer Oberfläche anzieht, mit der Kraft verglich, welche den Mond in seiner Bahn erhält.

Die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde beträgt (rund) 60 Erdhalbmesser, seine Umlaufszeit (nahezu) 27 Tg. 8 St. = 39 360 Min. Es ist also, wenn wir den Radius der Erde mit r bezeichnen, die Beschleunigung, welche der Mond durch die anziehende Kraft der Erde erfährt, nach Gl. 5 in der Anm. des vorigen §.

$$p = \frac{4\pi^2 . 60r}{(39\,360 . 60)^2}.$$

Beachten wir weiter, daß nach §. 6 in Metern $r = \frac{2 . 10^7}{\pi}$ ist, so ergiebt sich für die Beschleunigung in Metern der Wert $$p = \frac{4 . 10^4 . \pi}{3936^2 . 3} = 0{,}0027.$$

Die Fallbeschleunigung an der Oberfläche der Erde beträgt aber im Mittel 9,8 m. Ist nun obiges Gesetz richtig, so muß die durch die anziehende Kraft der Erde bewirkte Beschleunigung in der 60fachen Entfernung $= \frac{9{,}8}{60^2} = 0{,}0027$ m sein, welches Ergebnis mit dem vorstehend für den Mond berechneten übereinstimmt.

*§. 43. **Hindernisse der Bewegung.** Wenn der Bewegung der Körper keine Hindernisse entgegenständen, so müßte nach §. 19 jeder einmal in Bewegung gesetzte Körper sich gleichförmig zu bewegen ohne Ende fortfahren. Diejenigen Hindernisse, welche die fortdauernde Anwendung einer Kraft erforderlich machen, um die Bewegung eines Körpers zu unterhalten, sind vorzüglich die **Reibung** und der **Widerstand** der Luft oder des Wassers, überhaupt des **Mittels**, in welchem die Bewegung geschieht.

1) Die Reibung entsteht dadurch, daß bei zwei sich berührenden Körpern, welche einen Druck gegen einander ausüben, die Berührungsflächen auch bei der sorgfältigsten Politur doch niemals vollkommen glatt sind, vielmehr die Erhabenheiten der einen in die Vertiefungen der andern eingreifen. Wenn nun der eine Körper längs des andern fortbewegt wird, so werden diese Erhabenheiten entweder losgerissen und verschoben, oder die Erhabenheiten des einen Körpers müssen die Erhabenheiten des andern übersteigen. Der hierzu erforderliche Kraftaufwand bestimmt die Größe der Reibung. Sie ist natürlich um so größer, je rauher die sich berührenden Flächen sind, hängt außerdem aber auch von der besonderen Natur der sich berührenden Körper ab. **Die Reibung nimmt ferner bei allen Körpern in gleichem Verhältnisse mit dem Drucke zu; sie ist dagegen von der Geschwindigkeit und der Größe der Berührungsflächen unabhängig.**

Bei der rollenden Bewegung ist die Reibung weit geringer als bei der gleitenden. — Ferner ist die Reibung natürlich um so geringer, je glatter die sich berührenden Flächen sind; sie wird daher vermindert durch die Schmiermittel.

Der Reibung ist es hauptsächlich zuzuschreiben, daß die wirklichen Leistungen unserer Maschinen immer bedeutend hinter dem berechneten Effekte zurückbleiben. Man sucht den hindernden Einfluß durch geeignete Schmiermittel (Fett, Seife, Öl u. dgl.) möglichst zu vermindern, ferner dadurch, daß man statt der gleitenden Bewegung eine rollende einführt. Hierauf beruht die Anwendung der Räder bei einem Wagen; schwere Lasten werden auf unterlegten Walzen fortbewegt u. dgl. m.

Andererseits gewährt uns die Reibung aber auch unzählige Vorteile. Ohne dieselbe würden wir kaum zu gehen imstande sein; kein Nagel würde haften; kein Knoten, keine Naht würde halten; die Gewebe, aus denen unsere Kleider bestehen, würden in einzelne Fäden auseinander fallen u. dgl. m.

Wenn ein Wagen auf abschüssiger Straße infolge seiner eigenen Schwere in zu schnelle Bewegung geraten würde, wird durch Anlegung ein[illegible] ines Hemmschuhes die Reibung vermehrt

und die rollende Bewegung in eine gleitende verwandelt. — Man benutzt die Reibung ferner bei Maschinen, um vermittelst Riemen oder Schnüren die Bewegung eines Rades auf ein anderes zu übertragen. — Ebenso wird die Fortbewegung der Lokomotive auf der Eisenbahn durch die Reibung der durch die Dampfkraft in drehende Bewegung versetzten Räder an den eisernen Schienen vermittelt. Je größer die Zahl der angehängten Wagen und die Belastung derselben ist, um so beträchtlicher muß die Reibung der Räder der Lokomotive an den Schienen und also um so größer das Gewicht der Lokomotive sein. Dies ist noch mehr der Fall, wenn die Schienen nicht wagerecht liegen, sondern zugleich eine Steigung überwunden werden soll. Ist diese zu groß oder das Gewicht der Lokomotive zu gering, so kann es geschehen, daß die Räder derselben sich um ihre Achse drehen, ohne den Zug fortzubewegen.

Man mißt die Reibung durch die Kraft, welche eben ausreicht, den auf wagerechter Unterlage ruhenden Körper in Bewegung zu setzen. Bezeichnen wir diese Kraft mit P, den von dem aufliegenden Körper auf die Unterlage ausgeübten Druck mit Q, so wird der Quotient $\frac{P}{Q}$ der Reibungskoefficient genannt. Derselbe giebt an, welchen Bruchteil die Reibung von dem ausgeübten Drucke beträgt. Er ist im Mittel bei gleitender Bewegung und bei trockenen Flächen: für Holz auf Holz = $^1/_3$, für Metall auf Metall = $^1/_5$, für Holz auf Metall = $^2/_5$, bei gut geschmierten Flächen in allen drei Fällen = $^1/_{14}$. — Die rollende Reibung auf einer guten Landstraße beträgt ungefähr $^1/_{40}$, auf der Eisenbahn $^1/_{200}$.

2) **Der Widerstand des Mittels**, der Luft oder des Wassers, besteht darin, daß ein Körper, welcher sich in demselben bewegt, fortwährend Teile desselben fortschieben muß und daher so wie jeder stoßende Körper, welcher einen ruhenden in Bewegung setzt, an seiner eigenen Geschwindigkeit verliert. Dieser Widerstand wächst sehr stark mit der Geschwindigkeit des bewegten Körpers und hängt außerdem von der Größe und Gestalt desselben und von der Dichtigkeit des Mittels ab, in welchem die Bewegung geschieht.

Man sucht den Widerstand des Mittels dadurch zu verringern, daß man die Körper in der Richtung der Bewegung, z. B. die Schiffe, die Linsen an den Uhrpendeln u. dgl., schmal zulaufen läßt. Ebenso kommt den Vögeln beim Fliegen, den Fischen beim Schwimmen ihr Bau sehr zu statten. Der Nutzen dieses Widerstandes zeigt sich beim Rudern, Schwimmen, Fliegen, beim Fallschirme u. dgl.

Bei mäßiger Geschwindigkeit wächst der Widerstand des Mittels ungefähr wie das Quadrat, bei großer Geschwindigkeit wie die dritte Potenz derselben. Mit zunehmender Geschwindigkeit nähert sich daher die Größe des Widerstandes mehr und mehr der Größe der treibenden Kraft, sodaß die Bewegung schließlich eine nahezu gleichförmige wird. Dies gilt z. B. von der Bewegung der Regentropfen.

§. 44, a. Arbeit. In allen Fällen, in denen eine Kraft einen Körper fortbewegt, verrichtet sie eine **Arbeit**, indem sie an jeder Stelle des Weges die der Fortbewegung entgegenstehenden Hindernisse überwindet. Die Größe der Arbeit ist einerseits der Größe des überwundenen Widerstandes, andererseits der Größe des von dem bewegten Körper durchlaufenen Weges proportional. Wenn z. B. durch die Kraft eines Arbeiters eine Last zu einer gewissen Höhe und ein anderes Mal die doppelte Last zu der nämlichen Höhe gehoben wird, so ist in dem letzteren Falle die Größe der verrichteten Arbeit die doppelte. — Wenn die vor den Pflug gespannten Pferde einmal eine Länge von 100 m, ein anderes Mal eine Länge von 300 m unter übrigens gleichen Umständen gepflügt haben, so ist im letzteren Falle die geleistete Arbeit 3 mal so groß als im ersteren. Überhaupt ist die Arbeit dem **Produkte aus der Größe des Weges und des überwundenen Widerstandes proportional.** Dieses Produkt dient daher als Maß der Arbeit, indem man als

Einheit diejenige Arbeit annimmt, welche erforderlich ist, um einen Widerstand von 1 kg auf einer Strecke von 1 m zu überwinden. Letztere Arbeit nennt man ein Meterkilogramm (mkg).

Überwindet eine Kraft ein Hindernis unmittelbar ohne Anwendung einer Maschine, wie dies z. B. der Fall ist, wenn man ein Gewicht mit der Hand emporhebt, so muß die Kraft dem Widerstande, in unserem Beispiele der Schwere, gerade entgegen wirken und ihm an Größe gleich sein. Die von einer Kraft geleistete Arbeit ist daher auch gleich dem Produkte aus der Kraft und dem Wege, auf welchem sie wirkt. — Dieselbe Größe hat die von dem Widerstande aufgezehrte Arbeit. Wird z. B. eine Last von 120 kg um 1 m gehoben, so übt sie an jeder Stelle ihres Weges einen Widerstand von der Größe ihres Gewichtes aus; sie verbraucht daher eine Arbeit von 120 mkg. Soll eine Kraft diese Hebung ohne Vermittelung einer Maschine bewerkstelligen, so muß sie eine Größe von 120 kg haben und dabei auf dem Wege von 1 m eine Arbeit von 120 mkg leisten. — Wird andererseits die Last unter Anwendung eines gewöhnlichen Flaschenzuges mit 6 Rollen gehoben, so ist dazu nach §. 30 nur eine Kraft von 20 kg erforderlich; da diese Kraft aber auf einer Strecke von 6 m wirken muß, so leistet sie dabei ebenfalls eine Arbeit von 120 mkg. Wie im vorliegenden Falle, so ist überhaupt bei allen Maschinen die von einer Kraft geleistete Arbeit gleich der von dem Widerstande verbrauchten Arbeit. Dieser Satz von der Erhaltung der Arbeit ist schon mit anderen Worten im §. 27 hervorgehoben worden.

Bezeichnen wir die zur Überwindung eines Widerstandes aufgewendete Kraft mit P, die Strecke, durch welche diese Kraft wirkt, mit p, den Widerstand mit Q und den Weg, auf welchem der Widerstand überwunden wird, mit q, so gilt stets die Gleichung:

$$P . p = Q . q,$$

wie die über Maschinen entwickelten Gesetze (§§. 27—35) deutlich zeigen.

Zur Bestimmung der Größe einer Arbeit kommt es auf die Zeit gar nicht an; ein Arbeiter, welcher in kürzerer Zeit eine Last bis zu einer bestimmten Höhe hebt, hat darum nicht mehr geleistet als ein anderer, der hierzu eine längere Zeit braucht. Anders verhält es sich jedoch in Hinsicht der Größe der aufgewendeten Kraft; der erstere hat eine kürzere Zeit hindurch eine größere, der letztere während eine längeren Zeit eine kleinere Kraft angewendet. — Da im praktischen Leben die Zeit, in welcher eine Arbeit verrichtet wird, von wesentlicher Bedeutung ist, so schätzt man die Leistung einer Kraft nach der in einer bestimmten Zeit ausgeführten Arbeit, z. B. nach der Anzahl von Meterkilogrammen in einer Sekunde. Diese Größe nennt man den Effekt der Kraft. Für größere Arbeitsmengen dient als Einheit die Arbeit von 75 mkg in 1 Sek., welche man als Pferdekraft bezeichnet, da ein Pferd die angegebene Arbeit bei täglich etwa 8stündiger Arbeitszeit zu verrichten imstande ist.

Im absoluten Maßsystem ist nach §. 36, Anm. die Einheit der Kraft das Dyn, die Einheit der Länge das Centimeter, mithin die Einheit der Arbeit diejenige Arbeit, welche eine Kraft von 1 Dyn auf dem Wege von 1 cm leistet. Diese Arbeitseinheit wird Erg genannt. Nach der Erklärung erteilt die Kraft von 1 Dyn der Masse von 1 g die Beschleunigung von 1 cm; es ist also, wenn die Fallbeschleunigung 980 cm beträgt, das Gewicht von 1 g gleich 980 Dyn, woraus folgt, daß zum Heben einer Masse von 1 g um 1 cm eine Arbeit von 980 Erg erforderlich ist. Beträgt die Masse 1 kg = 1000 g, die Strecke, um welche dieselbe gehoben werden soll, 1 m = 100 cm, so muß die aufzuwendende Arbeit 100 000 mal so groß oder = 98 Millionen Erg sein. Demnach ist

$$1 \text{ mkg} = 9{,}8 \,.\, 10^7 \text{ Erg}.$$

§. 44, b. Lebendige Kraft. Nach §. 19 setzt ein ruhender Körper infolge seiner Trägheit jeder Kraft, welche seinen Ruhezustand ändert, einen Widerstand entgegen; dieser in der trägen Masse hervorgerufene Widerstand ist von derselben Größe wie die auf sie einwirkende Kraft. Wenn daher eine Kraft einen freibeweglichen Körper in Bewegung bringt, so muß sie dabei eine Arbeit verrichten, welche durch das Produkt aus der Kraft und dem während ihrer Einwirkung zurückgelegten Wege gemessen wird. Auf Kosten der geleisteten Arbeit erlangt der anfangs ruhende Körper eine gewisse Geschwindigkeit. — Nach dem Aufhören der Kraft behält der bewegte Körper das Bestreben, die Bewegung mit unveränderter Geschwindigkeit fortzusetzen. Stehen der Bewegung Hindernisse, wie Reibung u. dgl. entgegen, so verringert sich seine Geschwindigkeit. Da nun der Körper, ehe er zur Ruhe kommt, einen gewissen Weg durchläuft und hierbei einen entgegenstehenden Widerstand überwindet, so hat die Kraft, welche ihn ursprünglich in Bewegung gesetzt hat, dem Körper zugleich die Fähigkeit verliehen, seinerseits selbst Arbeit zu verrichten. So setzt der Zug auf horizontaler Eisenbahn, auch nachdem die Dampfkraft, welche ihm seine Geschwindigkeit erteilt hat, außer Wirksamkeit gesetzt ist, seine Bewegung noch eine Strecke fort und überwindet hierbei die seiner Fortbewegung widerstehende Reibung. Dieses Vermögen eines bewegten Körpers, Arbeit zu leisten, bezeichnet man als lebendige Kraft. Ein Maß für die Größe derselben ist in der Arbeit gegeben, welche der bewegte Körper zu verrichten imstande ist, also in dem Produkte aus dem Widerstande, welchen der Körper bei seiner Fortbewegung zu überwinden hat und dem Wege, welchen er dabei zu durchlaufen vermag.

Die zur Bewegung eines Körpers aufgewendete Arbeit ist also nicht verloren gegangen, sondern in dem bewegten Körper als lebendige Kraft aufgespeichert, welche ihrerseits den Körper befähigt, wiederum Arbeit zu leisten und zwar von dem gleichen Betrage. Durch Überwindung der Reibung verrichtet der Zug auf Kosten seiner Geschwindigkeit eine ebenso große Arbeit, als der Dampf entwickelt hat, um dem Zuge seine Geschwindigkeit zu erteilen. — Ein aufwärts geworfener Stein (§. 41) kommt beim Niederfallen mit der nämlichen Geschwindigkeit, mit welcher er geworfen war, unten wieder an. Beim Emporsteigen überwindet nämlich der Stein vermöge seiner lebendigen Kraft den Widerstand, welchen die Schwere seiner Bewegung entgegensetzt; wenn der Stein seine Geschwindigkeit verloren hat, so verrichtet andererseits die Schwerkraft, indem sie den Stein niederzieht, eine Arbeit von gleicher Größe und erteilt ihm dieselbe lebendige Kraft wieder, mit welcher er aufgestiegen war, also auch dieselbe Geschwindigkeit. — Allgemein gilt das Gesetz: Die Arbeit, welche ein in Bewegung befindlicher Körper durch Überwindung eines Widerstandes zu leisten vermag, ist gleich der Arbeit, welche eine Kraft verrichten muß, um dem Körper seine Bewegung zu erteilen.

Kommt ein bewegter Körper unter dem Einflusse eines konstanten Widerstandes K zur Ruhe, nachdem er den Weg s durchlaufen hat, so ist die von dem Körper geleistete Arbeit $= Ks$. Es sei ferner die Anfangsgeschwindigkeit des Körpers $= v$. Wird diese durch den Widerstand K in 1 Sek. um a vermindert, so gelangt der Körper nach $\frac{v}{a}$ Sek. zur Ruhe. Da hierbei der Annahme zufolge die Geschwindigkeit gleichmäßig von v bis Null abnimmt, also im Mittel $\frac{v}{2}$ beträgt, so legt der Körper

im ganzen den Weg $s = \frac{v}{2} \cdot \frac{v}{a} = \frac{v^2}{2a}$ zurück. Hat ferner der Körper die Masse M, so ist der Widerstand, welcher der bewegten Masse M in 1 Sek. die Geschwindigkeit a entzieht, ebenso groß wie eine Kraft, welche der ruhenden Masse M in 1 Sek. die Geschwindigkeit a zu erteilen vermag und wird mithin nach §. 36 durch das Produkt Ma dargestellt; es ist also $K = Ma$. Multiplizieren wir diese Gleichung mit der vorigen $s = \frac{v^2}{2a}$, so erhalten wir

$$Ks = \frac{1}{2} Mv^2.$$

Die lebendige Kraft einer bewegten Masse ist also gleich dem halben Produkte aus der in Bewegung befindlichen Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit.

Verstehen wir zweitens unter K eine konstante Kraft, durch welche dem Körper seine Bewegung erteilt worden ist, und unter s den Weg, welchen derselbe bis zum Aufhören der Kraft zurückgelegt hat, so ist die von dieser Kraft zur Bewegung des Körpers verwendete Arbeit Ks. Bezeichnen wir sodann die am Ende der ersten Sekunde erlangte Geschwindigkeit mit a, so ergiebt sich der Weg, welchen der Körper durchlaufen hat, bis er die Endgeschwindigkeit v besitzt, nach §. 39, Anm. (Gl. 4, b) $s = \frac{v^2}{2a}$. Ferner ist nach §. 36 die auf den Körper einwirkende Kraft $K = Ma$, folglich $Ks = \frac{1}{2} Mv^2$, d. h. die lebendige Kraft einer bewegten Masse ist gleich der Arbeit einer Kraft, welche dem Körper seine Bewegung erteilt hat.

Aus dem für die lebendige Kraft gewonnenen Ausdrucke folgt:

Die Wirkungsfähigkeit eines bewegten Körpers ist seiner Masse und dem Quadrate seiner Geschwindigkeit proportional.

Bei demselben Widerstande vermag daher eine doppelte, dreifache Masse den doppelten, dreifachen Weg, eine mit der doppelten, dreifachen Geschwindigkeit sich bewegende Masse den vierfachen, neunfachen Weg zu durchlaufen. Wenn z. B. ein Zug auf horizontaler Eisenbahn beim Aufhören der Wirksamkeit der Dampfkraft einmal eine doppelt so große Geschwindigkeit besitzt, als ein anderes Mal, so wird unter übrigens gleichen Umständen der Zug im ersteren Falle einen viermal so großen Weg durchlaufen, ehe er zur Ruhe kommt, als im anderen Falle. — Ähnliches gilt von dem Widerstande, welcher auf einem bestimmten Wege überwunden werden kann.

Da beim gänzlichen Verbrauche der lebendigen Kraft stets der nämliche Arbeitsbetrag aufgewendet wird, so vermag eine bewegte Masse auf einem kürzeren Wege einen in demselben Verhältnisse größeren Widerstand zu überwinden als auf einem längeren Wege. Ein Beispiel wird dies deutlicher zeigen. Eine Kanonenkugel von 12 kg hat nach §. 36, Anm., wenn wir die durch die Schwere bewirkte Beschleunigung (§. 39) = 10 m setzen, die Masse $1\frac{2}{10}$, also bei einer Geschwindigkeit von 500 m die lebendige Kraft von $\frac{1}{2} \cdot 1\frac{2}{10} \cdot 500^2 = 150\,000$ mkg. Sie ist hiernach imstande, auf einer Strecke von 1000 m einen Widerstand von 150 kg, auf einer Strecke von 1 m aber einen solchen von 150 000 kg zu überwinden. Nehmen wir an, die Kugel sei beim Aufschlagen nur 10 cm tief in das Ziel eingedrungen, so hat sie auf diesem Wege den ungeheuren Druck von $1\frac{1}{2}$ Millionen Kgr. ausgeübt. Dieses Vermögen einer bewegten Masse, ihre ganze lebendige Kraft nahezu augenblicklich in Arbeit umsetzen zu können, erklärt die gewaltigen Wirkungen, welche durch den Stoß bewegter, im Gegensatze zu dem Drucke ruhender Körper verursacht werden.

Als Anwendung des vorhergehenden mag noch folgendes Beispiel dienen: Wenn bei einem Wassergefälle aus der Höhe h in jeder Sekunde die Wassermasse m herabstürzt, so ist nach §. 39, Anm., unter g die Beschleunigung durch die Schwere verstanden, die Endgeschwindigkeit des herabstürzenden Wassers $v = \sqrt{2gh}$, also die lebendige Kraft $w = \frac{1}{2} mv^2 = mgh = ph$, wenn wir mit p das Gewicht der Wassermasse m bezeichnen (§. 36, Anm.). Die Wirkungsfähigkeit des Gefälles kann daher auch durch das Produkt aus dem Gewichte des herabstürzenden Wassers und der Höhe des Gefälles, d. h. der beim Niederstürzen verbrauchten Arbeit bestimmt werden.

Das Gesetz über die lebendige Kraft ist zuerst [illegible]bniz aufgestellt worden.

Sowie durch Reibung eine bewegte Masse an lebendiger Kraft verliert, so findet dasselbe auch beim Stoße unelastischer oder unvollkommen elastischer Massen statt. Sind z. B. M und m die Massen, C und c die Geschwindigkeiten zweier in einem geraden Stoße zusammentreffenden Kugeln (wo C und c ebensowohl gleiche als entgegengesetzte Vorzeichen haben können), so gehen beide zufolge §. 37 nach dem Stoße mit der Geschwindigkeit $\frac{MC + mc}{M + m}$ fort; die Summe ihrer lebendigen Kräfte ist folglich

$$K' = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{MC + mc}{M + m} \right)^2 \cdot (M + m) = \frac{(MC + mc)^2}{2(M + m)};$$

die Summe der lebendigen Kräfte der beiden Kugeln vor dem Stoße war

$$K = \frac{1}{2} MC^2 + \frac{1}{2} mc^2.$$

Die Subtraktion dieser beiden Gleichungen ergiebt nach einiger Reduktion den Verlust an lebendiger Kraft

$$K - K' = \frac{Mm\,(C - c)^2}{2\,(M + m)}.$$

Dieser Verlust ist am kleinsten, wenn die Kugeln auch vor dem Stoße hinter einanderhergingen, also C und c gleiche Vorzeichen haben, größer, wenn eine der Kugeln vor dem Stoße ruhte, also C oder c gleich Null ist, noch größer, wenn die Kugeln sich gegen einander bewegten, also C und c entgegengesetzte Vorzeichen haben. Allemal aber findet ein Verlust an lebendiger Kraft statt; es müssen daher bei Maschinen Stöße möglichst vermieden werden. — Ebenso muß bei Anwendung von Wasserkräften, wenn das Wasser in Kanälen oder Röhren herbeigeführt wird, welche ihre Richtung ändern, diese Änderung nicht in einem Winkel, sondern in einem Bogen von möglichst großem Krümmungsradius geschehen.

Über die bei der Reibung, beim Stoß u. dgl. in Wirklichkeit erfolgende Umsetzung der lebendigen Kraft in Wärme siehe weiter unten in der Wärmelehre (§. 253, a).

§. 45 (44, c). Spannkraft, Energie. Während jeder bewegte Körper durch seine **lebendige Kraft** zur Arbeit befähigt ist, erlangt ein ruhender Körper nur unter besonderen Umständen das Vermögen zur Leistung von Arbeit. — Ein am Boden liegendes Gewicht ist nicht arbeitsfähig. Anders verhält sich die Sache, wenn das Gewicht emporgehoben ist; es vermag nunmehr, falls man ihm gestattet, niederzusinken, Arbeit zu leisten, z. B. bei einer Gewichtsuhr das Räderwerk zu bewegen oder vermittelst einer Rolle eine Last von gleicher Schwere um dieselbe Strecke aufwärts zu ziehen, um welche das Gewicht selbst sinkt. Dabei leistet das Gewicht im Niedersinken eine ebenso große Arbeit, als beim Heben desselben zur Überwindung der Schwerkraft verbraucht worden ist; es hat also dadurch, daß es in die Höhe gehoben worden ist, die Fähigkeit erhalten, dieselbe Arbeitsmenge zu entwickeln, welche zu der Lagenänderung erforderlich war. — Wird die Feder einer Taschenuhr aufgedreht, so erhält sie das Bestreben, die Änderung, welche in der Anordnung ihrer Teile geschehen ist, wieder aufzuheben, und kann, wenn man sie ihre ursprüngliche Form wieder annehmen läßt, eine Arbeit von gleicher Größe verrichten, wie diejenige, welche zur Spannung der Feder aufgewendet worden ist. Diese Fähigkeit der Arbeitsleistung, welche ein in Ruhe befindlicher Körper infolge seiner besonderen Lage besitzen kann, bezeichnet man als **Spannkraft**. Dieselbe äußert sich in dem Bestreben des Körpers, eine andere Lage einzunehmen, und wird wirksam, wenn man das Hemmnis, welches ihn daran hindert, beseitigt. Zu dieser Beseitigung des Hemmnisses, der Auslösung der Spannkraft, braucht der Körper selbst keine Arbeit zu verrichten.

Die Fähigkeit, Arbeit zu leisten, bezeichnet man als **Energie**. Die Größ derselben wird durch die Arbeit gemessen, welche der mit Energie versehene Körpe zu verrichten imstande ist; sie stellt einen in dem Körper aufgespeicherten Arbeit vorrat dar (meßbar durch eine bestimmte Anzahl von Meterkilogramm). Lebendi Kraft und Spannkraft sind zwei verschiedene Formen der Energie; die erstere h ihren Grund in der Bewegung, die letztere in der besonderen Lage des Körper Daher unterscheidet man die lebendige Kraft als **Energie der Bewegung** von d Spannkraft als **Energie der Lage**.

Zwischen beiden Arten von Energie besteht die wichtige Beziehung, daß die ei in die andere umgewandelt werden kann. Lebendige Kraft vermag sich in Span kraft umzusetzen und diese ist ihrerseits imstande, wiederum die ursprüngliche Men von lebendiger Kraft zu entwickeln. Bei solchen Umwandlungen wird weder a Arbeit gewonnen noch verloren; der einmal vorhandene Arbeitsbetrag bleibt st derselbe. In diesem Satze liegt für die sichtbaren mechanischen Vorgänge (sofe von Reibung, Stoß u. dgl. abgesehen wird) das allgemeine **Princip von d Erhaltung der Kraft***) ausgedrückt. (Das Princip in seiner allgemeinen Bedeutu wird weiter unten in der Wärmelehre (§. 254) ausführlicher erörtert werden.)

Arbeitsvorrat in Form von Spannkraft kommt in der Natur in großer Menge vor und fin zur Erzeugung von Bewegung die mannigfaltigste Anwendung. Das durch Verdunstung emp gehobene Wasser bildet in den Wolken arbeitsfähige Masse, welche beim Niederfallen als Regen o Schnee ihre Spannkraft in lebendige Kraft umsetzt, in Bächen und Flüssen angesammelt, Sand u Gerölle mit sich schleppt, Mühlen treibt, Schiffe fortbewegt und andere Arbeiten verschiedenster verrichtet. — Wir heben ferner noch hervor die Spannkraft einer Sehne, welche dem Pfeile se lebendige Kraft erteilt; der komprimierten Luft, welche bei einer Windbüchse durch ihre Ausdehnu das Geschoß forttreibt; des Wasserdampfes, der den Kolben der Dampfmaschine in Bewegung s Spannkraft besitzt überhaupt jeder elastische Körper, dessen Form innerhalb der Grenzen seiner Elastici eine Änderung erlitten hat. — Eine fortwährende Umsetzung von Spannkraft in lebendige Kraft u umgekehrt findet beim schwingenden Pendel statt. Ähnliches gilt bei der Bewegung der Himmelskör (§. 42, b). In der Sonnennähe bewegt sich die Erde am schnellsten, ihre lebendige Kraft ist am größt während sie sich von der Sonne entfernt, verwandelt sich ein Teil der lebendigen Kraft durch Üb windung der Anziehung von seiten der Sonne in Spannkraft; diese ist am größten in der Sonn ferne; mit der Annäherung an die Sonne setzt sich die Spannkraft wieder in lebendige Kraft u In jedem Punkte der Bahn ist die Summe der vorhandenen lebendigen Kraft und Spannkraft diesel

Soll eine Last Q um die Strecke h gehoben werden, so ist nach dem Früheren zur Üb windung der Schwere eine Arbeit Qh erforderlich; im allgemeinen ist aber die wirkliche Arbeitsleist bei der Ausführung des Hebens größer, da der Last noch eine gewisse Geschwindigkeit v erteilt, a anderweitige Arbeit verrichtet wird. Verstehen wir unter g die Beschleunigung durch die Schwerkr so ist die Masse des Gewichtes (nach §. 36) $= \frac{Q}{g}$, mithin die lebendige Kraft, mit welcher es o ankommt, $= \frac{1}{2}\frac{Q}{g}v^2$; für die gesamte Arbeit erhalten wir somit den Ausdruck: $Qh + \frac{1}{2}\frac{Q}{g}v^2$.

Nur wenn die gehobene Last ohne Geschwindigkeit oben ankommt (wie z. B. ein aufwä geworfener Körper im höchsten Punkte seiner Bahn), dann ist die geleistete Arbeit lediglich zur Üb windung der Schwerkraft benutzt worden.

---

*) Kraft genommen im Sinne von arbeitsfähiger Kraft, Arbeit, Energie.

Dritter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen flüssiger Körper.

§. 46. Von den flüssigen Körpern im allgemeinen. Die flüssigen Körper unterscheiden sich von den festen durch die leichte Verschiebbarkeit ihrer Teile. Die verschiedenen Flüssigkeiten besitzen diese Eigenschaft in sehr ungleichem Maße. Bei einer vollkommenen Flüssigkeit müßte schon die kleinste Kraft zur Verschiebung ihrer Teile ausreichen. Manche Flüssigkeiten, wie z. B. Wasser und Quecksilber, kommen diesem Zustande sehr nahe, während andere, wie z. B. Sirup und Öl, von demselben ziemlich weit abstehen.

Wir werden es in diesem Abschnitt hauptsächlich mit den mechanischen Eigenschaften der Flüssigkeiten, welche durch die Schwere und die leichte Verschiebbarkeit der Teile bedingt werden, zu thun haben und dieselben vorzüglich an der verbreitetsten aller Flüssigkeiten, dem Wasser, studieren.

Die im vorigen Abschnitte zunächst für feste Körper entwickelten Gesetze gelten auch für flüssige Körper, solange nicht durch die leichte Verschiebbarkeit der Teile eine Verschiedenheit hervorgerufen wird.

In §. 12 wurde schon angeführt, daß flüssige Körper bei starkem Druck ihr Volumen ein wenig vermindern, und sich bei nachlassendem Druck wieder in den früheren Raum ausdehnen; da aber die Zusammendrückbarkeit bei allen Flüssigkeiten nur eine äußerst geringe ist, so werden wir dieselbe im folgenden ganz vernachlässigen.

Die Verminderung des Volumens beträgt für Wasser bei dem Druck von 100 kg auf 1 qcm noch nicht ganz $^1/_{200}$.

§. 47. Oberfläche des Flüssigen in einem offenen Gefäße. Wegen der Schwere und leichten Verschiebbarkeit der Teile müssen Flüssigkeiten in Gefäßen aufbewahrt werden. Indem eine Flüssigkeit den Raum eines Gefäßes ausfüllt, nimmt sie auch dessen Gestalt an. In einem oben offenen Gefäße aber ist die Oberfläche des Flüssigen eine wagerechte Ebene, also senkrecht auf der Richtung der Schwere. Dieser Satz, welchen überall die Erfahrung bestätigt, folgt unmittelbar aus der Schwere und leichten Verschiebbarkeit der Teile des Flüssigen, indem bei einer geneigten Oberfläche, welche mit der Richtung der Schwere einen schiefen Winkel bildet, die obersten Teile über die darunter liegenden wie über eine schiefe Ebene herabgleiten würden. — Dementsprechend ist die Oberfläche des Wassers bei sehr großen Behältern, wie z. B. den Weltmeeren, ein Teil der gekrümmten Oberfläche der Erde.

Am Rande eines Gefäßes findet nach §. 15 infolge der Adhäsion zwischen dem festen und flüssigen Körper eine Abweichung von der wagerechten Oberfläche statt, indem z. B. in einem Glase Wasser am Rande höher, Quecksilber niedriger steht als in der Mitte. — Diese Abweichung läßt sich auf folgende Weise mathematisch begründen. Ist AB (Fig. 81) die senkrechte Wand eines Gefäßes, CD die wagerechte Oberfläche der Flüssigkeit in demselben, so wird ein Flüssigkeitsteilchen bei C einerseits von den neben und unter ihm befindlichen Flüssigkeitsteilchen, andererseits von der festen Wand angezogen. Die ersteren Anziehungen vereinigen sich zu einer Kraft P, welche den Winkel BCD halbiert. Diese Kraft P aber können wir in zwei Seitenkräfte P_1 und P_2 zerlegen, von denen P_2 in der Richtung der Schwere, P_1 aber senkrecht darauf, *also* in wagerechter Richtung wirkt. Die von der festen Wand

Die Fähigkeit, Arbeit zu leisten, bezeichnet man als Energie. Die Größe derselben wird durch die Arbeit gemessen, welche der mit Energie versehene Körper zu verrichten imstande ist; sie stellt einen in dem Körper aufgespeicherten Arbeitsvorrat dar (meßbar durch eine bestimmte Anzahl von Meterkilogramm). Lebendige Kraft und Spannkraft sind zwei verschiedene Formen der Energie; die erstere hat ihren Grund in der Bewegung, die letztere in der besonderen Lage des Körpers. Daher unterscheidet man die lebendige Kraft als Energie der Bewegung von der Spannkraft als Energie der Lage.

Zwischen beiden Arten von Energie besteht die wichtige Beziehung, daß die eine in die andere umgewandelt werden kann. Lebendige Kraft vermag sich in Spannkraft umzusetzen und diese ist ihrerseits imstande, wiederum die ursprüngliche Menge von lebendiger Kraft zu entwickeln. Bei solchen Umwandlungen wird weder an Arbeit gewonnen noch verloren; der einmal vorhandene Arbeitsbetrag bleibt stets derselbe. In diesem Satze liegt für die sichtbaren mechanischen Vorgänge (sofern von Reibung, Stoß u. dgl. abgesehen wird) das allgemeine Princip von der Erhaltung der Kraft*) ausgedrückt. (Das Princip in seiner allgemeinen Bedeutung wird weiter unten in der Wärmelehre (§. 254) ausführlicher erörtert werden.)

Arbeitsvorrat in Form von Spannkraft kommt in der Natur in großer Menge vor und findet zur Erzeugung von Bewegung die mannigfaltigste Anwendung. Das durch Verdunstung emporgehobene Wasser bildet in den Wolken arbeitsfähige Masse, welche beim Niederfallen als Regen oder Schnee ihre Spannkraft in lebendige Kraft umsetzt, in Bächen und Flüssen angesammelt, Sand und Gerölle mit sich schleppt, Mühlen treibt, Schiffe fortbewegt und andere Arbeiten verschiedenster Art verrichtet. — Wir heben ferner noch hervor die Spannkraft einer Sehne, welche dem Pfeile seine lebendige Kraft erteilt; der komprimierten Luft, welche bei einer Windbüchse durch ihre Ausdehnung das Geschoß forttreibt; des Wasserdampfes, der den Kolben der Dampfmaschine in Bewegung setzt. Spannkraft besitzt überhaupt jeder elastische Körper, dessen Form innerhalb der Grenzen seiner Elasticität eine Änderung erlitten hat. — Eine fortwährende Umsetzung von Spannkraft in lebendige Kraft und umgekehrt findet beim schwingenden Pendel statt. Ähnliches gilt bei der Bewegung der Himmelskörper (§. 42, b). In der Sonnennähe bewegt sich die Erde am schnellsten, ihre lebendige Kraft ist am größten; während sie sich von der Sonne entfernt, verwandelt sich ein Teil der lebendigen Kraft durch Überwindung der Anziehung von seiten der Sonne in Spannkraft; diese ist am größten in der Sonnenferne; mit der Annäherung an die Sonne setzt sich die Spannkraft wieder in lebendige Kraft um. In jedem Punkte der Bahn ist die Summe der vorhandenen lebendigen Kraft und Spannkraft dieselbe.

Soll eine Last Q um die Strecke h gehoben werden, so ist nach dem Früheren zur Überwindung der Schwere eine Arbeit Qh erforderlich; im allgemeinen ist aber die wirkliche Arbeitsleistung bei der Ausführung des Hebens größer, da der Last noch eine gewisse Geschwindigkeit v erteilt, also anderweitige Arbeit verrichtet wird. Verstehen wir unter g die Beschleunigung durch die Schwerkraft, so ist die Masse des Gewichtes (nach §. 36) $= \frac{Q}{g}$, mithin die lebendige Kraft, mit welcher es oben ankommt, $= \frac{1}{2}\frac{Q}{g}v^2$; für die gesamte Arbeit erhalten wir somit den Ausdruck: $Qh + \frac{1}{2}\frac{Q}{g}v^2$.

Nur wenn die gehobene Last ohne Geschwindigkeit oben ankommt (wie z. B. ein aufwärts geworfener Körper im höchsten Punkte seiner Bahn), dann ist die geleistete Arbeit lediglich zur Überwindung der Schwerkraft benutzt worden.

*) Kraft genommen im Sinne von arbeitsfähiger Kraft, Arbeit, Energie.

Dritter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen flüssiger Körper.

§. 46. Von den flüssigen Körpern im allgemeinen. Die flüssigen Körper unterscheiden sich von den festen durch die leichte Verschiebbarkeit ihrer Teile. Die verschiedenen Flüssigkeiten besitzen diese Eigenschaft in sehr ungleichem Maße. Bei einer vollkommenen Flüssigkeit müßte schon die kleinste Kraft zur Verschiebung ihrer Teile ausreichen. Manche Flüssigkeiten, wie z. B. Wasser und Quecksilber, kommen diesem Zustande sehr nahe, während andere, wie z. B. Sirup und Öl, von demselben ziemlich weit abstehen.

Wir werden es in diesem Abschnitt hauptsächlich mit den mechanischen Eigenschaften der Flüssigkeiten, welche durch die Schwere und die leichte Verschiebbarkeit der Teile bedingt werden, zu thun haben und dieselben vorzüglich an der verbreitetsten aller Flüssigkeiten, dem Wasser, studieren.

Die im vorigen Abschnitte zunächst für feste Körper entwickelten Gesetze gelten auch für flüssige Körper, solange nicht durch die leichte Verschiebbarkeit der Teile eine Verschiedenheit hervorgerufen wird.

In §. 12 wurde schon angeführt, daß flüssige Körper bei starkem Druck ihr Volumen ein wenig vermindern, und sich bei nachlassendem Druck wieder in den früheren Raum ausdehnen; da aber die Zusammendrückbarkeit bei allen Flüssigkeiten nur eine äußerst geringe ist, so werden wir dieselbe im folgenden ganz vernachlässigen.

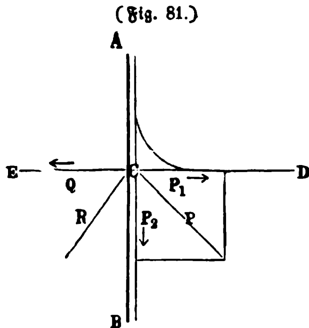
Die Verminderung des Volumens beträgt für Wasser bei dem Druck von 100 kg auf 1 qcm noch nicht ganz $^1/_{200}$.

§. 47. Oberfläche des Flüssigen in einem offenen Gefäße. Wegen der Schwere und leichten Verschiebbarkeit der Teile müssen Flüssigkeiten in Gefäßen aufbewahrt werden. Indem eine Flüssigkeit den Raum eines Gefäßes ausfüllt, nimmt sie auch dessen Gestalt an. In einem oben offenen Gefäße aber ist die Oberfläche des Flüssigen eine wagerechte Ebene, also senkrecht auf der Richtung der Schwere. Dieser Satz, welchen überall die Erfahrung bestätigt, folgt unmittelbar aus der Schwere und leichten Verschiebbarkeit der Teile des Flüssigen, indem bei einer geneigten Oberfläche, welche mit der Richtung der Schwere einen schiefen Winkel bildet, die obersten Teile über die darunter liegenden wie über eine schiefe Ebene herabgleiten würden. — Dementsprechend ist die Oberfläche des Wassers bei sehr großen Behältern, wie z. B. den Weltmeeren, ein Teil der gekrümmten Oberfläche der Erde.

Am Rande eines Gefäßes findet nach §. 15 infolge der Adhäsion zwischen dem festen und flüssigen Körper eine Abweichung von der wagerechten Oberfläche statt, indem z. B. in einem Glase Wasser am Rande höher, Quecksilber niedriger steht als in der Mitte. — Diese Abweichung läßt sich auf folgende Weise mathematisch begründen. Ist AB (Fig. 81) die senkrechte Wand eines Gefäßes, CD die wagerechte Oberfläche der Flüssigkeit in demselben, so wird ein Flüssigkeitsteilchen bei C einerseits von den neben und unter ihm befindlichen Flüssigkeitsteilchen, andererseits von der festen Wand angezogen. Die ersteren Anziehungen vereinigen sich zu einer Kraft P, welche den Winkel BCD halbiert. Diese Kraft P aber können wir in zwei Seitenkräfte P_1 und P_2 zerlegen, von denen P_2 in der Richtung der Schwere, P_1 aber senkrecht darauf, also in wagerechter Richtung wirkt. Die von der festen Wand

ausgeübte Anziehung bildet andererseits eine Kraft Q, welche senkrecht auf der Richtung der Wand steht, also in der Richtung CE, mithin der Kraft P_1 gerade entgegenwirkt. Ist nun $Q = P_1$, ist also die Adhäsion zwischen der Flüssigkeit und der festen Wand gleich der Kohäsion der Flüssigkeitsteilchen unter sich, so heben sich beide Kräfte auf; es bleibt nur die senkrecht nach unten gerichtete Komponente P_2 übrig; die Oberfläche der Flüssigkeit ist mithin auch am Rande des Gefäßes horizontal. Ist dagegen $Q > P_1$, so bleibt nach Aufhebung der Kraft P_1 noch die in der Richtung CE wirkende Differenz $Q - P_1$ übrig, welche sich mit P_2 zu der in den Winkelraum BCE fallenden Resultierenden R vereinigt, und da nun die Oberfläche der Flüssigkeit bei C auf dieser Resultierenden senkrecht stehen muß, so ist sie also gegen die feste Wand geneigt; die Oberfläche der Flüssigkeit wird konkav. — Umgekehrt muß dieselbe konvex werden, wenn die Adhäsion zwischen der Flüssigkeit und der Wand geringer ist als die Kohäsion der Flüssigkeitsteilchen unter sich, wie sich auf ganz ähnliche Weise entwickeln läßt.

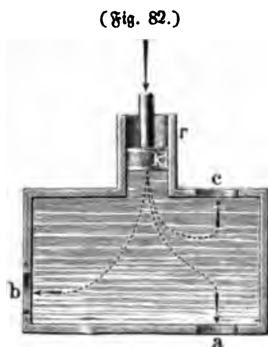
(Fig. 81.)



§. 48. Allseitige Fortpflanzung des Druckes in einer Flüssigkeit.

Eine Folge der leichten Verschiebbarkeit der Teile des Flüssigen ist ferner die Eigenschaft, daß ein einseitig auf eine Flüssigkeit ausgeübter Druck sich nach allen Seiten hin gleichmäßig verbreitet. Um uns den Sinn dieses Satzes zu verdeutlichen, denken wir uns ein Gefäß (Fig. 82), welches oben in ein Rohr r ausläuft, mit Wasser angefüllt, von dessen Gewicht wir hier zunächst absehen. Wird nun vermittelst eines in dem Rohre befindlichen, dicht anschließenden Kolbens k auf das Wasser ein Druck ausgeübt, so erleidet auch jede andere mit der Grundfläche des Kolbens k gleich große Stelle in der Wand des Gefäßes (etwa a oder b oder c) einen ebenso großen, senkrecht nach außen gerichteten Druck. Wenn eine solche Stelle beweglich wäre, so würde man, um das Hervordringen des Wassers zu verhindern, von außen einen Gegendruck anbringen müssen, welcher ebenso groß wäre, wie der auf den Kolben ausgeübte. Eine Stelle der Wand, welche doppelt so groß als die Grundfläche des Kolbens ist, hat demnach auch den doppelten Druck auszuhalten. Überhaupt erleidet eine größere oder kleinere Stelle einen nach Verhältnis ihrer Größe größeren oder kleineren Druck. — Einen eben solchen Druck wie die Wände des Gefäßes erleidet auch ein in die Flüssigkeit eingetauchter Körper an jeder Stelle seiner Oberfläche.

(Fig. 82.)



Der eben angeführte Satz findet eine sehr nützliche Anwendung in der hydraulischen Presse. Dieselbe besteht im wesentlichen aus zwei Cylindern (Fig. 83), einem engeren c und einem weiteren c′, welche durch ein Rohr r mit einander verbunden sind. In dem engeren Cylinder läßt sich ein Kolben k luft- und wasserdicht auf und nieder bewegen, während sich in dem weiteren Cylinder ein ebenfalls beweglicher und wasserdicht anschließender Kolben k′ befindet. Ferner ist an den ersteren Cylinder unten ein Rohr s angesetzt, welches in einem mit Wasser gefüllten Behälter b hineinreicht, oben aber ein Ventil v besitzt, welches sich nur gegen [illegible] öffnen kann. In dem Verbindungsrohre ist noch ein zweites Ventil v′ [illegible] in der Richtung gegen den weiteren Cylinder c′ hin öffnet.

Wird nun der Kolben k in die Höhe gezogen, so steigt infolge des äußeren Luftdruckes das Wasser aus dem Behälter b in dem Rohre s empor, hebt das Ventil v und tritt in den Cylinder c ein; beim Niedergange des Kolbens aber schließt sich das Ventil wieder und verhindert so den Rücktritt des Wassers in den Behälter b. Das Wasser dringt daher nach wiederholten Kolbenzügen in das Verbindungsrohr ein, öffnet das Ventil v', ergießt sich in den Cylinder c' und hebt den Kolben k' in die Höhe, indem jedesmal beim Emporziehen des Kolbens k durch das Ventil v Wasser in den Cylinder c eintritt, während beim Niederdrücken das Wasser durch das Ventil v' in den weiteren Cylinder c' getrieben wird. Ist nun auf dem Kolben k' eine Platte p befestigt und über dieser ein festes Widerlager w angebracht, so läßt sich ein auf die Platte gelegter Körper q gegen das Widerlager pressen und mit großer Kraft zusammendrücken. Diese Kraft ist nach dem Obigen das Sovielfache von dem ursprünglich angewendeten Drucke, als die Grundfläche des kleineren Kolbens in der des größeren enthalten ist. Verhalten sich die Durchmesser beider Kolben z. B. wie 1 : 10, ihre Grundflächen also wie 1 : 100, so beträgt die Pressung das 100fache von dem auf den kleineren Kolben ausgeübten Druck. — Den kleineren Kolben k bezeichnet man gewöhnlich als Druckkolben, den größeren als Preßkolben, das Ventil v als Saugventil, v' aber als Druckventil.

(Fig. 83.)

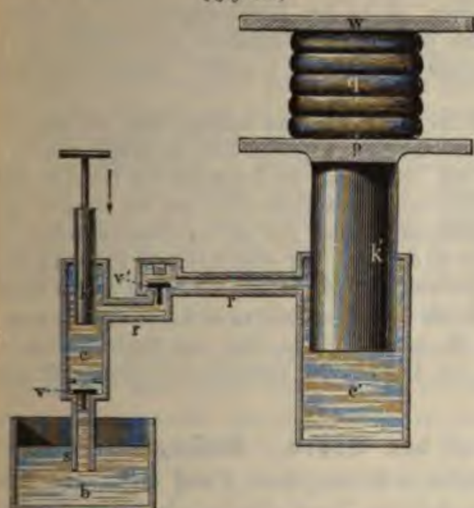
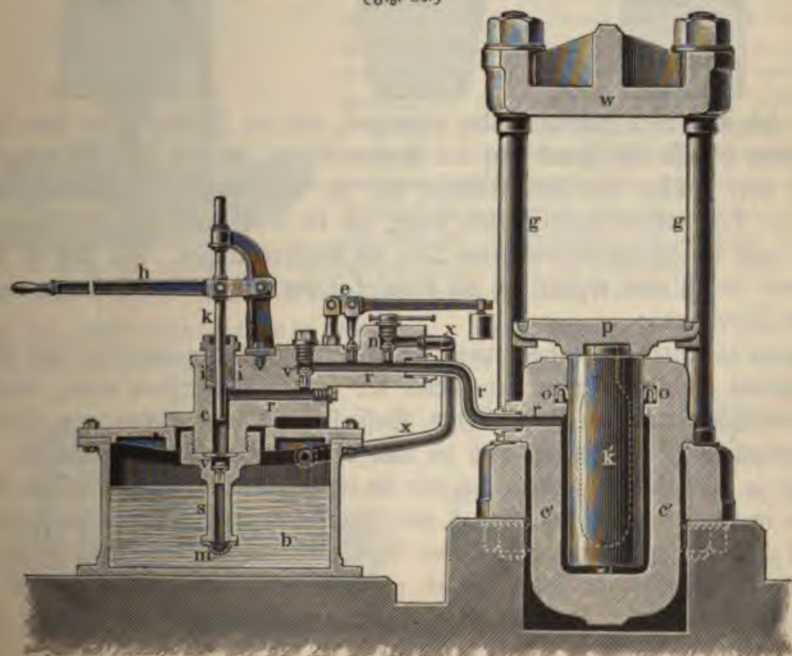


Fig. 84, bei welcher dieselben Bezeichnungen wie oben angewendet sind, stellt den Querschnitt einer hydraulischen Handpresse dar. Bei derselben geschieht die Bewegung des Druckkolbens k vermittelst

(Fig. 84.)

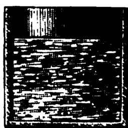


eines Hebels h. Zur Befestigung des Widerlagers w, einer starken eisernen Platte, dienen die ebenfalls eisernen Säulen g, g, welche einerseits mit dem Widerlager, andererseits mit dem Cylinder des Preßkolbens durch Schrauben fest verbunden sind. — Um beim Gebrauche der Presse den ausgeübten Druck wieder aufheben zu können, ist in dem Verbindungsrohre r ein Ventil n angebracht. Beim Öffnen desselben treibt das Gewicht des Preßkolbens das Wasser aus dem Preßcylinder durch ein seitliches Rohr x, x in den Wasserbehälter b zurück. Neben diesem Ventil befindet sich noch ein Sicherheitsventil e.

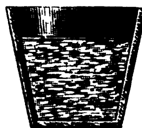
Vermittelst der hydraulischen Presse läßt sich bei Anwendung einer mäßigen Kraft ein sehr großer Druck ausüben. Es habe z. B. der kleinere Kolben einen Durchmesser von 2 cm, der größere von 20 cm; dann verhalten sich ihre Grundflächen wie 1 : 100. Wenn nun der Druck auf den kleineren Kolben vermittelst eines Hebels, dessen Arme sich wie 1 : 6 verhalten, ausgeübt wird und am längeren Hebelarme ein Arbeiter mit einer Kraft von 20 kg niederdrückt, so giebt dies auf den kleineren Kolben selbst einen Druck von 120 kg, und der größere Kolben wird folglich mit einer Kraft von 12000 kg in die Höhe getrieben. Nehmen wir an, daß $^1/_4$ der Wirkung durch die Reibung der Kolben an den Wänden der Cylinder verloren geht, so bleibt doch noch ein Effekt von 9000 kg übrig. — Man benutzt die hydraulische Presse vielfach in der Industrie, z. B. zum Pressen in Tuch- und Papierfabriken, zum Auspressen in Ölmühlen und Zuckerfabriken, zur Prüfung der Festigkeit von eisernen Stangen, Ketten u. dgl. m.

§. 49. Druck des Wassers auf den Boden. Wasser, welches sich in einem Gefäße befindet, übt auf den Boden desselben einen Druck aus. In einem Gefäße mit senkrechten Wänden (Fig. 85) ist dieser Druck offenbar gleich dem Gewichte des in dem Gefäße enthaltenen Wassers; es ist hier also **der Druck auf den Boden gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche den Boden des Gefäßes zur Grundfläche und die Höhe des Wasserspiegels über dem Boden zur Höhe hat.** Dieser Satz über den Bodendruck gilt aber auch für Gefäße, deren

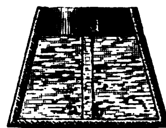
(Fig. 85.)



(Fig. 86.)



(Fig. 87.)



Wände sich nach oben erweitern oder verengern, und es ist folglich in dem Fig. 86 gezeichneten Gefäße der Druck auf den Boden kleiner, in dem Fig. 87 dargestellten Gefäße aber größer als das Gewicht der in dem Gefäße enthaltenen Wassermasse. — Das erstere begreift man leicht, da in dem durch Fig. 86 dargestellten Gefäße auch die schiefen Wände einen Teil des Wassers tragen. Für das in Fig. 87 gezeichnete Gefäß aber ergiebt sich die Richtigkeit der aufgestellten Behauptung durch folgende Überlegung:

Es sei ab irgend ein senkrecht unter dem Wasserspiegel liegender Teil des Bodens; dann erleidet derselbe offenbar den Druck der ganzen Wassersäule abcd, welche ab zur Grundfläche und den Abstand des Wasserspiegels vom Boden zur Höhe hat. Diesen nämlichen Druck erleidet auch die unterste auf ab ruhende Wasserschicht, welche wir uns so dünn denken wollen, daß wir ihr eigenes Gewicht vernachlässigen können. Da nun im Wasser zufolge des vorig. §. ein Druck sich nach allen Seiten hin fortpflanzt, so muß auch die ganze auf dem Boden befindliche unterste Wasserschicht und also auch der Boden selbst an jeder mit ab [illegible] Stelle einen ebenso großen Druck wie ab selbst erleiden. Dem [illegible] ben einen Druck, welcher

gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule, welche den Boden zur Grundfläche und die Höhe des Wasserspiegels über dem Boden zur Höhe hat.

Wenn auch hiernach bei dem durch Fig. 87 dargestellten Gefäße der Druck auf den Boden größer ist als das Gewicht der vorhandenen Wassermasse, so übt doch das Gefäß selbst, wenn es mit dem Boden auf irgend eine Unterlage gestellt wird, keinen größeren Druck aus, als dem Gewichte des in demselben enthaltenen Wassers entspricht, indem dieses auch aufwärts auf die schiefen Seitenwände einen Druck ausübt, welcher dem Drucke auf den Boden entgegenwirkt.

Eine nützliche Anwendung des Druckes auf den Boden ist Reals Auflösungspresse. Diese besteht aus einem Gefäße, in welchem sich die auszupressende Substanz zwischen zwei Platten befindet, von denen die untere siebartig durchlöchert ist. Nachdem das Gefäß mit dem Auflösungsmittel, z. B. Wasser gefüllt ist, wird auf dasselbe ein dicht anschließender Deckel aufgeschraubt, welcher mit einer senkrechten, langen, aber engen Röhre versehen ist. Indem diese nun mit Wasser gefüllt wird, läßt sich auf die auszupressende Substanz mit einer geringen Menge Wasser ein starker Druck ausüben.

§. 50. Druck des Wassers auf die Seitenwände. So wie auf den Boden, so übt das Wasser auch auf die Wände der Gefäße, in denen es sich befindet, einen Druck aus; dieser Druck nimmt mit der Tiefe zu. Er ist für jede Stelle einer Seitenwand gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche diese Stelle zur Grundfläche und die Höhe des Wasserspiegels über dem Schwerpunkte der gedrückten Stelle zur Höhe hat.

(Fig. 88.)



Da die gegenüberstehenden Seitenwände einen gleichen Druck erleiden, so hebt dieser Druck sich gegenseitig auf. Macht man aber in eine Wand eine Öffnung, so daß das Wasser ausfließen kann, so erleidet die gegenüberstehende Wand einen größeren Druck als die Wand, in welcher sich die Öffnung befindet. Kann man die Öffnung wirklich öffnen und schließen, und hängt man das Gefäß bei verschlossener Öffnung senkrecht an einem Faden auf, so wird es, wenn man die Öffnung öffnet, so daß das Wasser ausfließen kann, jetzt nicht mehr senkrecht hängen, sondern nach der Seite hin abweichen, welche dem ausfließenden Wasserstrahle gegenüberliegt. Auf dieser rückwirkenden Kraft des ausfließenden Wassers beruht das Segnersche Wasserrad. Dieses besteht aus einem hohlen, um seine Achse drehbaren Gefäße, welches unten mit seitwärts gebogenen Abflußröhren versehen ist (Fig. 88). Wird in das Gefäß von oben her Wasser geleitet, welches durch die Röhren abfließt, so dreht sich dasselbe in der entgegengesetzten Richtung um seine Achse. — Auf demselben Principe beruhen auch die horizontalen Wasserräder, welche man Turbinen nennt.

§. 51. Kommunizierende Röhren. Zwei Gefäße, welche einen solchen Zusammenhang haben, daß das Wasser frei aus dem einen in das andere treten kann, heißen kommunizierende Röhren. Von diesen gilt das Gesetz:

(Fig. 89.)



In kommunizierenden Röhren steht das Wasser in beiden Schenkeln gleich hoch.

Wenn das Wasser in dem engeren Schenkel CD (Fig. 89) höher als in dem weiteren AB stände, so würde es in der verbindenden Röhre von C her einen stärkeren

Druck als von B her erleiden. Das Gleichgewicht kann folglich nur bestehen, wenn beide Wasserspiegel, im weiteren und im engeren Schenkel, eine gleiche Höhe haben.

Auf diesem Satze beruht die **Kanalwage**, welche beim **Nivellieren** gebraucht wird und aus einer mit Wasser gefüllten Röhre besteht, die auf einem Gestell in wagerechter Lage befestigt ist und an ihren Enden zwei aufrechtstehende Glascylinder trägt. Die Oberflächen des Wassers in den beiden Cylindern liegen allemal in einer wagerechten Ebene.

Der obige Satz findet ferner Anwendung bei **Wasserleitungen**. Es folgt nämlich aus demselben, daß sich das Wasser durch Röhren zu jeder Stelle hinleiten läßt, welche nicht höher liegt als die Quelle, von welcher das Wasser ausfließt.

Ebenso erklären sich die folgenden Erscheinungen: Das Wasser in Teichen, Brunnen u. dgl., welche sich in der Nähe von Flüssen befinden, steigt und fällt mit diesen, indem die Poren des Erdreichs verbindende Kanäle herstellen. — Quellen verdanken ihre Entstehung dem durch den Erdboden hindurch sickernden Regenwasser; sie finden sich daher am häufigsten an den Abhängen der Berge; nirgends auf der Erde wird eine Quelle auf dem höchsten Gipfel eines Gebirges angetroffen.

Es gehört ferner hierher das Emporsteigen des Wassers in **Bohrlöchern**, welche man in die Erde treibt. In manchen Gegenden gelangt nämlich das von höher gelegenen Stellen in die Tiefe eindringende Regenwasser zwischen zwei dichte Erd- oder Felsschichten, wie z. B. Lehm, Thon u. dgl., welche sowohl sein weiteres Eindringen in die Tiefe als sein Emporsteigen hindern. Treibt man nun im Thale ein Bohrloch (Fig. 90) durch die überdeckende wasserdichte Schicht bis in die wasserhaltige,

(Fig. 90.)



so steigt das Wasser in dem Bohrloche empor. Man nennt solche Brunnen, da sie zuerst in der Grafschaft **Artois** in häufige Anwendung gekommen sind, **artesische**.

Befinden sich in zwei kommunizierenden Röhren Flüssigkeiten von verschiedenen specifischen Gewichten (§. 21, b), z. B. Wasser und Quecksilber, so stehen die Flüssigkeiten in beiden Schenkeln ungleich hoch und zwar müssen sich die Höhen umgekehrt wie die specifischen Gewichte der Flüssigkeiten verhalten.

§. 52. Gewichtsverlust fester Körper im Wasser. **Jeder Körper verliert im Wasser soviel an Gewicht, als die Wassermasse wiegt, welche er aus der Stelle treibt.** Die Richtigkeit dieses Satzes, welcher zuerst von **Archimedes** (250 v. Chr.) aufgefunden ist und daher auch das **archimedische Princip** genannt wird, geht daraus hervor, daß ohne das Vorhandensein des eingetauchten Körpers der von demselben eingenommene Raum mit Wasser ausgefüllt sein würde, welches von den umgebenden Wasserteilen getragen wird. Soviel also, als diese Wassermasse wiegt, soviel muß der Druck, welchen das umgebende Wasser in lotrechter Richtung von unten her ausübt, der **Auftrieb**, den von oben her ausgeübten Druck übertreffen.

Nun können drei Fälle stattfinden: entweder der eingetauchte Körper ist schwerer als das verdrängte Wasser, dann sinkt er zu Boden; — oder der Körper ist ebenso schwer als ein gleiches Volumen Wasser [illegible] ruht er an jeder Stelle im Wasser; — oder der eingetauchte Körper ist [illegible] verdrängte Wasser, dann wird er

in die Höhe getrieben mit einer Kraft, welche gleich ist dem Unterschiede zwischen seinem eigenen Gewichte und dem des durch ihn verdrängten Wassers. Der Körper kann also nicht im Wasser, wohl aber auf demselben ruhen, wenn nur ein Teil des Körpers ins Wasser taucht, der andere hervorragt. Man sagt dann: der Körper **schwimmt** im Wasser.

Damit ein Körper auf dem Wasser schwimmen könne, ist nicht unbedingt erforderlich, daß er specifisch leichter ist als Wasser; auch specifisch schwerere Körper können zum Schwimmen gebracht werden, wenn man sie aushöhlt oder mit specifisch leichteren Körpern verbindet. Damit aber ein schwimmender Körper sich im Gleichgewichte befinde, sind zwei Bedingungen unerläßlich: 1) **das Gewicht des durch den eingetauchten Teil verdrängten Wassers muß gleich sein dem ganzen Gewichte des Körpers**, und 2) **der Schwerpunkt des Körpers und der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse müssen in lotrechter Linie liegen.**

Um das archimedische Princip durch einen Versuch zu bewahrheiten, kann man sich mit Vorteil einer Wage bedienen, welche zum Wiegen eines Körpers in einer Flüssigkeit besonders eingerichtet ist. Bei einer solchen **hydrostatischen** Wage (Fig. 91) hängt die eine Wagschale w höher als die andere, damit sich ein zur Aufnahme der Flüssigkeit bestimmtes Gefäß unterstellen läßt; an der Unterseite aber

(Fig. 91.)



besitzt diese Wagschale einen kleinen Haken, an welchen man bei Versuchen den abzuwägenden Körper vermittelst eines Fadens anhängt. — An eine solche Wage wird nun ein kleiner cylindrischer Eimer e aus Metall angehängt und an diesen ein massiver Cylinder c, welcher so gearbeitet ist, daß er genau in den Eimer hineinpaßt, also gleichen Inhalt besitzt. Ist dann durch Auflegen von Gewichten auf die andere Wagschale Gleichgewicht hergestellt worden, so gießt man in ein unter den Cylinder gestelltes Glas so viel Wasser, daß derselbe vollständig eintaucht. Dadurch wird das Gleichgewicht gestört; dasselbe tritt aber wieder ein, wenn man den kleinen Eimer genau bis an den Rand mit Wasser füllt. Hiernach hat der Cylinder, da er denselben Inhalt besitzt wie der Eimer, thatsächlich soviel an Gewicht verloren, als die von ihm verdrängte Wassermasse wiegt.

Die **Stabilität** eines schwimmenden Körpers ist im allgemeinen um so größer, je tiefer sein Schwerpunkt fällt. Dies ist der Grund, warum die Schiffer den unteren Schiffsraum mit möglichst schweren Körpern, **Ballast**, ausfüllen; indem hierdurch der Schwerpunkt des Schiffes erniedrigt wird.

Bei den *Fischen* trägt die Schwimmblase, welche unter dem Rückgrat liegt, dazu bei, den oberen Teil des Fisches leichter als den unteren zu machen und so die Stabilität desselben zu vermehren. — Außerdem gewährt dieselbe den Fischen, indem sie durch den Druck der Rippen die in der Schwimmblase enthaltene Luft zusammenpressen, welche sich bei nachlassendem Drucke wieder ausdehnt, den Nutzen, ihr Volumen willkürlich vergrößern und verkleinern und so im Wasser auf- und niedersteigen zu können.

Man unterscheidet *natürliches* und *künstliches Schwimmen*. Das oben Gesagte gilt zunächst nur vom natürlichen Schwimmen. Beim künstlichen Schwimmen wird ein Körper durch gegen das Wasser ausgeübte Stöße über der Oberfläche desselben erhalten.

§. 53. Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper. Das archimedische Princip, daß jeder Körper im Wasser soviel an Gewicht verliert, als ein gleiches Volumen Wasser wiegt, liefert ein treffliches Mittel zur Bestimmung des *specifischen Gewichtes* (§. 21, b) fester und flüssiger Körper. Um das specifische Gewicht eines *festen Körpers* zu finden, wiegt man denselben zuerst auf gewöhnliche Weise in der Luft und hierauf, indem man ihn an einem feinen Faden aufhängt, im Wasser. *Der Gewichtsverlust, den er im Wasser erleidet, in das absolute Gewicht des Körpers dividiert, giebt sein specifisches Gewicht.* — Wiegt z. B. ein Stück Kalkspat in der Luft 250 g, im Wasser 158 g, so ist sein Gewichtsverlust im Wasser, also das Gewicht einer Wassermasse, welche mit dem Körper gleiches Volumen hat, = 250 — 158 = 92 g, folglich sein specifisches Gewicht $^{250}/_{92} = 2{,}7$.

Um das specifische Gewicht eines Körpers zu bestimmen, welcher leichter ist als Wasser, verbindet man ihn mit einem specifisch schwereren Körper, z. B. einem Stücke Blei, nachdem man vorher das absolute Gewicht sowie auch den Gewichtsverlust dieses Körpers im Wasser bestimmt hat.

Wenn ein Körper, wie z. B. Steinsalz, im Wasser löslich ist, so bestimmt man seinen Gewichtsverlust in einer Flüssigkeit von bekanntem specifischen Gewichte, in welcher sich derselbe nicht auflöst, z. B. in Alkohol. Sovielmal nun Alkohol leichter ist als Wasser, sovielmal würde auch der Gewichtsverlust des Steinsalzes im Wasser größer sein als im Alkohol.

Das specifische Gewicht einer *Flüssigkeit* läßt sich mit Hülfe des archimedischen Princips auf die Weise ermitteln, daß man den Gewichtsverlust bestimmt, welchen ein fester Körper sowohl in der betreffenden Flüssigkeit als auch im Wasser erleidet. Diese Gewichtsverluste geben unmittelbar die Gewichte gleicher Volume der Flüssigkeit und des Wassers; man braucht daher nur nachzusehen, wie oft der Gewichtsverlust für Wasser in demjenigen für die Flüssigkeit enthalten ist. — Gewöhnlich bedient man sich hierbei eines kleinen geschlossenen und zum Teil mit Quecksilber oder Schrot gefüllten Glases, welches den Namen *Senkgläschen* führt.

Bei den hier angegebenen Bestimmungen des specifischen Gewichtes pflegt man sich der im vorig. §. beschriebenen hydrostatischen Wage zu bedienen.

Da genaue und empfindliche Wagen kostbar sind, so hat man zur Bestimmung des specifischen Gewichtes besondere Instrumente erfunden, welche bei hinreichender Genauigkeit billig herzustellen sind. Dieselben beruhen auf dem Satze, daß das Gewicht eines schwimmenden Körpers gleich dem Gewichte der von dem Körper verdrängten Flüssigkeit ist. Sie führen den Namen *Senkwagen* oder *Aräometer* *).

*) Von ἀραιός leicht, weil man gewöhnlich bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes nur kleine Massen anwendet.

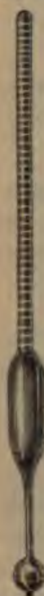
Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper bedient man sich der Senkwage mit Gewichten (Fig. 92). Dieselbe besteht aus einem hohlen Cylinder c aus Messing, welcher unten durch ein Gewicht beschwert ist, sodaß er im Wasser aufrecht schwimmt. Oben läuft dieser Cylinder in einen dünnen Hals aus, der einen kleinen Teller trägt; unten aber ist ein Eimerchen e angebracht, in welches man die Körper beim Abwägen unter Wasser legt. — Um nun das absolute Gewicht des Körpers zu finden, taucht man das Instrument in Wasser und legt auf den Teller soviel Gewichte, bis eine an dem Halse angebrachte Marke gerade in das Wasser eintaucht, nimmt dann die Gewichte ab, legt den Körper auf den Teller und soviel Gewichte zu, bis das Instrument abermals bis an die Marke einsinkt. Die Gewichte, welche man jetzt weniger zugelegt hat, geben das absolute Gewicht des Körpers an. Hierauf legt man den Körper von dem Teller in den unten angehängten Eimer. Da der Körper im Wasser an Gewicht verliert, so muß man jetzt aufs neue Gewichte zulegen, damit die Senkwage bis an die Marke einsinkt. Die nun zugelegten Gewichte geben den Gewichtsverlust des Körpers an.

(Fig. 92.)



Vermittelst der beschriebenen Senkwage läßt sich auch das specifische Gewicht einer Flüssigkeit finden. Für eine solche Verwendung, bei welcher das Eimerchen e ganz fortgelassen werden kann, bestimmt man zunächst ein für allemal das absolute Gewicht des Instrumentes. Dann sieht man zu, wie viel Gewichte man auflegen muß, damit die Senkwage im Wasser bis an die Marke einsinkt. Diese Gewichte, zu dem Gewichte des Instruments addiert, geben das Gewicht einer der Senkwage bis zur Marke gleichen Wassermasse. Taucht man nun das Instrument in die zu untersuchende Flüssigkeit, z. B. Spiritus, und legt wieder soviel Gewichte auf, bis die Senkwage bis an die Marke einsinkt, so geben diese Gewichte, zu dem Gewichte des Instrumentes addiert, das Gewicht eines ebenso großen Volumens Spiritus an.

(Fig. 93.)



Bequemer zur Ermittelung des specifischen Gewichts der Flüssigkeiten sind die Aräometer mit Skalen (Fig. 93). Ein solches besteht aus einer gläsernen Röhre, welche sich unten etwas erweitert und in eine kleine Kugel endet, die Quecksilber oder Schrotkörner enthält, damit das Instrument in aufrechter Lage schwimmt. Der Gebrauch desselben beruht auf dem Satze, daß ein Körper in einer Flüssigkeit, in welcher er schwimmt, um so tiefer einsinkt, je geringer das specifische Gewicht der Flüssigkeit ist. — Häufig will man nicht sowohl das specifische Gewicht einer Flüssigkeit, sondern das Mischungsverhältnis ihrer Bestandteile wissen, z. B. beim Branntwein, aus wie vielen Prozenten Alkohol und Wasser derselbe besteht. Um eine diesem Zwecke entsprechende Skala zu konstruieren, taucht man das Instrument zunächst in Wasser und bezeichnet die Stelle, bis zu welcher es einsinkt, mit 0; hierauf taucht man das Instrument in eine Mischung aus 90 Teilen Wasser und 10 Teilen Spiritus, in eine Mischung aus 80 Teilen Wasser und 20 Teilen Spiritus u. s. w. und bezeichnet die Stellen, bis zu welchen das Instrument einsinkt, mit 10, 20 u. s. w. Die Zwischenräume aber teilt man in 10 gleiche Teile. Es ist einleuchtend, daß ein solches Instrument (Alkoholometer, Branntweinwage) nur für diese besondere Flüssigkeit zu gebrauchen ist. — In ähnlicher Art werden Salzspindeln für Mischungen aus reinem Wasser und Kochsalz, ferner Milchwagen, um zu untersuchen, ob die Milch durch Wasser verdünnt worden, verfertigt.

Eine Tafel der specifischen Gewichte einiger Körper befindet sich in §. 21, b.

***§. 54. Ausfluß des Wassers aus Öffnungen.** Wenn Wasser aus einer engen Öffnung in der Wand eines Gefäßes ausfließt, so ist die Geschwindigkeit desselben um so größer, je tiefer die Öffnung unter dem Wasserspiegel liegt.

Geschwindigkeit ist (nahe) derjenigen gleich, welche ein Körper erlangt, wenn er durch eine Höhe gefallen ist, welche der Tiefe der Öffnung unter dem Wasserspiegel gleich ist.

Befindet sich die Öffnung in einer Seitenwand des Gefäßes, so hat der ausfließende Strahl die Gestalt der krummen Linie, welche ein mit der Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers wagerecht geworfener Körper beschreibt, also nahe die Gestalt einer Parabel (vergl. §. 41).

Strömt das Wasser durch eine enge Öffnung aus einer aufwärts gebogenen, mit einem Wasserbehälter verbundenen Röhre, wie z. B. bei den Springbrunnen, so müßte es zufolge des obigen Gesetzes bis zur ungefähren Höhe des Wasserspiegels emporspritzen. Hinter dieser Höhe bleibt es jedoch zurück, weil seine Geschwindigkeit durch die Reibung an den Wänden der Röhre, durch den Widerstand der Luft, auch durch den Druck der zurückfallenden Wasserteile vermindert wird.

Bezeichnen wir die Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers mit v, die Höhe des Wasserspiegels über der Öffnung mit h und die Geschwindigkeit, welche ein frei fallender Körper in der ersten Sekunde erlangt, mit g, so ist nach obigem Gesetze und Gl. 4, a in §. 39 (ungefähr)

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Bei verschiedenen Druckhöhen verhalten sich also die Ausflußgeschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus diesen Höhen.

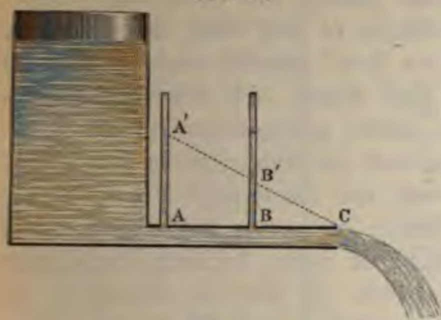
Weil der Wasserstrahl gleich nach seinem Austritte sich etwas zusammenzieht, so muß man bei der Berechnung des in der Zeiteinheit ausfließenden Wassers statt der Öffnung den Querschnitt des zusammengezogenen Wasserstrahles da, wo er am kleinsten ist, setzen. Dieser Querschnitt ist bei dünnem Boden ungefähr gleich 0,63 der Öffnung; bei dickem Boden ist die Zusammenziehung etwas geringer, was von der Adhäsion an den Wänden der Öffnung herrührt. Aus gleichem Grunde kann durch den Ansatz kurzer Röhren, welche von der Flüssigkeit benetzt werden, die Zusammenziehung des Wasserstrahles vermindert und daher die Menge des ausfließenden Wassers vermehrt werden.

***§. 55. Fortbewegung des Wassers in Röhren und Kanälen.** In Röhren erleidet das fließende Wasser vorzüglich durch die Reibung an den Wänden eine fortwährende Verminderung seiner Geschwindigkeit. Aus gleichem Grunde ist die Geschwindigkeit des fließenden Wassers in einem Strome gewöhnlich in der Mitte größer als nahe am Ufer. Aber auch in der Mitte des Stromes ist die Geschwindigkeit des Wassers niemals so groß als die in §. 39, Anm. angeführte Regel vorschreibt, nach welcher sie der Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers gleich sein müßte, welcher durch eine gleiche Höhe gefallen ist; und wenn sie auch mit dem Gefälle wächst, so bleibt sie doch immer bedeutend hinter der aus dieser Regel hervorgehenden Größe zurück. Besonders stark wird die Geschwindigkeit des fließenden Wassers vermindert, wenn die Röhre oder der Kanal (Strom) Krümmungen macht.

Wenn das Wasser aus einem Gefäße durch eine gerade, überall gleich weite Röhre fließt, so würden die Wände der Röhre von dem Wasser im Gefäße gar keinen Druck erleiden, wenn das durch die Röhre fließende Wasser an den Wänden [illegible] Reibung, Adhäsion u. dgl. keinen Widerstand erführe. Aber infolge dieser Widerstän[illegible] und an jeder Stelle einen Druck, welcher

der Summe der Widerstände proportional ist, die das Wasser auf seinem Laufe von dieser Stelle bis zum Ausfluß zu überwinden hat. Man kann diese Verhältnisse sichtbar machen, wenn man an der oberen Seite eines wagerechten Ausflußrohres einige Öffnungen anbringt, in welche man aufrechte gläserne Röhrchen einmünden läßt; dann steigt das Wasser in denselben zu um so größeren Höhen, je weiter sie von der Ausflußöffnung entfernt sind (Fig. 94). Steigt das Wasser in einem dicht an der Gefäßwand angebrachten Röhrchen etwa bis zur Höhe AA' und in einem zweiten bei B bis zur Höhe BB', so verhält sich BB' zu AA' wie der Widerstand, welchen das Wasser in dem Ausflußrohre zwischen B und C zu überwinden hat, zu dem Widerstande zwischen A und C. Da diese Widerstände sich aber verhalten wie BC : AC, so ist auch

(Fig. 94.)



$$BB' : AA' = BC : AC.$$

Die Punkte A', B' und C liegen demnach in einer geraden Linie.

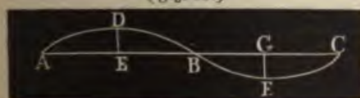
***§. 56. Stoß des Wassers gegen feste Körper.** Trifft eine bewegte Wassermasse auf eine feste Wand, so übt sie gegen dieselbe einen Druck aus. Dieser ist z. B. bei einer in einem Strom senkrecht auf die Richtung desselben eingetauchten Platte nahe gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche die getroffene Fläche zur Grundfläche und die der Geschwindigkeit des Wassers entsprechende Fallhöhe (die Höhe, durch welche ein Körper fallen muß, um die gleiche Geschwindigkeit zu erlangen) zur Höhe hat; dieselbe wächst proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit (s. §. 39, Nr. 5). — Diese Regel gilt auch, wenn die Platte von einem freien Wasserstrahle getroffen wird, dessen Querschnitt nicht kleiner ist als derjenige der Platte. Wenn aber die gestoßene Fläche viel größer ist, so breitet sich der Wasserstrahl aus und übt nun beinahe die doppelte Wirkung aus.

Diese Sätze kommen bei den unterschlächtigen Wasserrädern in Anwendung, welche durch den Stoß, den ein Wasserstrom gegen die unteren Schaufeln ausübt, bewegt werden. Ist das Rad in Bewegung, so entspricht der Stoß des Wassers gegen die Radschaufeln nicht mehr der vollen Geschwindigkeit des Wassers, sondern nur noch dem Unterschiede zwischen dieser und der Geschwindigkeit der Radschaufeln.

Bei den oberschlächtigen Rädern wirkt vorzüglich das Gewicht des von oben in die Kasten einstürzenden Wassers als bewegende Kraft. Sie sind nur bei bedeutendem Gefälle anzuwenden, haben aber dann vor den unterschlächtigen den Vorzug.

§. 57. Wellen. Die Wellen zeigen sich an der Oberfläche des Wassers als abwechselnde Erhöhungen und Vertiefungen. Man unterscheidet den Wellenberg ADB (Fig. 95) und das Wellenthal BFC, jenes liegt über, dieses unter der horizontalen Ebene des ruhenden Wasserspiegels. Die Höhe der ganzen Welle ist gleich der Summe aus der Höhe DE des Wellenberges und der Höhe FG des Wellenthales. Ebenso ist die Länge AC der ganzen Welle die Summe aus der Länge AB des Wellenberges und der Länge BC des Wellenthales.

(Fig. 95.)



Wellen können auf sehr mannigfaltige Weise im Wasser erregt werden, z. B. durch den Wind, durch den Stoß eines ins Wasser fallenden festen Körpers u. dgl. m. Wirft man einen Stein ins Wasser, so entsteht zunächst eine Vertiefung. Ebenso wie nun in kommunizierenden Röhren das Wasser in dem einen Schenkel steigt, sobald auf das Wasser im anderen Schenkel ein Druck ausgeübt wird, so muß sich auch um diese Vertiefung ein ringförmiger Wall bilden. Die erhobenen Teilchen dieses Walles sinken vermöge ihrer Schwere nieder, gelangen indessen im Niveau angekommen zufolge des Trägheitsgesetzes noch nicht zur Ruhe, sondern sinken unter das Niveau hinab; an Stelle des Walles tritt eine ringförmige Vertiefung ein. Dadurch aber entsteht in dem benachbarten Wasser ein zweiter Wellenberg, welcher durch sein Niedersinken ebenfalls zum Wellenthale wird, hierdurch einen neuen Wellenberg hervorruft u. s. w. Indem die Welle so über die Oberfläche des Wassers hinschreitet, haben also die Wasserteilchen selbst keine fortschreitende, sondern nur eine schwingende Bewegung.*) Es finden nur abwechselnde Hebungen und Senkungen der Oberfläche des Wassers statt, wie man deutlich sehen kann, wenn leichte Körper auf der Oberfläche schwimmen, indem diese durch die Welle nur abwechselnd gehoben werden und wieder herabsinken, ohne in horizontaler Linie fortbewegt zu werden.

Der zuerst erregten Welle folgen noch einige in ganz gleicher Weise fortschreitende, aber schwächere Wellen, indem die einmal in Bewegung gesetzten Wasserteile nicht bloß in die Lage des Gleichgewichts zurückkehren, sondern wie ein aufgehobenes Pendel diese überschreiten und erst nach einigen Schwingungen wieder zur Ruhe kommen.

Über die wellenförmige Bewegung beschränken wir uns die folgenden Hauptgesetze anzuführen, welche besonders in der Lehre vom Schalle und vom Lichte wichtige Anwendung finden.

1) Die durch einen Stoß auf der Oberfläche des Wassers erzeugte Welle erweitert sich beständig und bleibt dabei kreisförmig, wenn sie auf kein Hindernis trifft. Je mehr die Welle sich ausdehnt, um so mehr nimmt ihre Höhe ab, bis dieselbe endlich ganz verschwindet.

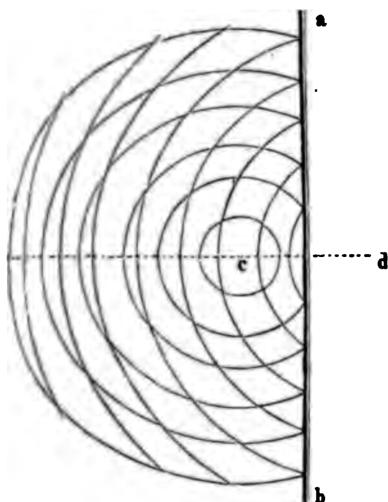
2) Werden auf der Oberfläche des Wassers zu gleicher Zeit zwei Wellen erregt, so durchkreuzen sie sich, ohne daß die eine die Fortbewegung der andern stört. Da, wo zwei Wellenberge oder zwei Wellenthäler zusammentreffen, findet eine Vermehrung der Höhen statt; wo aber ein Wellenberg mit einem Wellenthale zusammentrifft, wird diese Höhe vermindert.

3) Trifft eine Welle auf eine feste Wand in senkrechter Richtung, so wird sie senkrecht zurückgeworfen; es entsteht nämlich eine in entgegengesetzter Richtung fortschreitende Welle. Trifft die Welle schief auf die Wand, so wird sie unter dem nämlichen Winkel zurückgeworfen, unter welchem sie auffiel.

*) Nach den Untersuchungen der Ge[illegible] (1826) in Göttingen stimmen die Bahnen, welche die Wasserteilchen hierbei durchl[illegible] mehr oder weniger mit einem Kreise, in größerer Tiefe mit einer Ellipse

Wenn eine Welle im Wasser senkrecht auf eine reflektierende Wand ab (Fig. 96) trifft, so wird sie, wie schon oben bemerkt, auch senkrecht zurückgeworfen; die Kreisbogen der reflektierten Welle haben zum Mittelpunkt einen Punkt d, welcher ebenso weit hinter der reflektierenden Wand als der Mittelpunkt c der ankommenden Welle vor derselben liegt.

(Fig. 96.)



Je stärker der eine Welle erregende Stoß war, um so größer ist auch die Höhe und Länge der erzeugten Welle, und um so größer ist auch die Geschwindigkeit, mit welcher sich dieselbe über die Oberfläche des Wassers fortbewegt. Je mehr aber die Welle sich ausbreitet, um so mehr vermindert sich ihre Höhe und Länge und zugleich ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit, wie man leicht zeigen kann, wenn man in die Wellen, welche durch den Fall eines Steines ins Wasser erzeugt worden sind, einen eben solchen Stein aus gleicher Höhe fallen läßt.

Dagegen ist bei den Schallwellen in der Luft und den Lichtwellen im Äther, welche auf der Elasticität des Fortpflanzungsmittels beruhen, während bei den Wellen im Wasser die Schwere der Wasserteilchen als bewegende Kraft wirkt, die Geschwindigkeit lediglich durch die Elasticität der Luft oder des Äthers bedingt und daher für alle Arten von Schwingungen die nämliche.

Bei den Wellen im Wasser ist auch die Tiefe desselben nicht ohne Einfluß auf die Geschwindigkeit; vermindert sich die Tiefe, so daß die Schwingungen bis auf den Grund reichen, so nimmt infolge der Reibung die Geschwindigkeit ab. Im Meere holen daher da, wo über Felsen oder Sandbänken die Tiefe sich plötzlich verringert, die nachfolgenden Wellen die voranschreitenden ein, was zur Entstehung der **Brandungen** beiträgt.

Vierter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen der luftförmigen Körper.

---

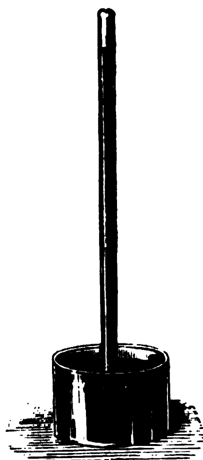
§. 58. Von den luftförmigen Körpern im allgemeinen. Unter allen luftförmigen Körpern ist die atmosphärische Luft bei weitem der verbreitetste. Wir werden daher an dieser vorzugsweise die mechanischen Eigenschaften der luftförmigen Körper näher betrachten.

Die luftförmigen Körper haben mit den flüssigen die leichte Verschiebbarkeit ihrer Teile gemein; sie unterscheiden sich aber von denselben dadurch, daß sie sich leicht in einen engeren Raum zusammenpressen lassen und daß sie andererseits das Bestreben zeigen, sich auszudehnen. Letzteres Bestreben der luftförmigen Körper bezeichnet man als ihre Elasticität oder Spannkraft. Wird die Luft zusammengepreßt, so wächst ihre Spannkraft in gleichem Verhältnisse mit der Dichtigkeit. Dieses Gesetz, welches wir erst in §. 66 näher begründen werden, wird das **Mariotte'sche** genannt.

§. 59. Der Torricellische Versuch. Da die Luft schwer ist, so muß sie ebenso, wie eine Flüssigkeit auf die in ihr befindlichen Körper einen Druck ausüben. Um diesen Druck zu messen, dient folgender Versuch: Eine an dem einen Ende geschlossene, etwa

1 m lange Röhre wird ganz mit Quecksilber gefüllt; hierauf wird das offene Ende mit dem Finger verschlossen und, nachdem die Röhre umgekehrt worden, in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht (Fig. 97). Wird nun der Finger weggezogen, so sinkt das Quecksilber in der Röhre nicht bis zur gleichen Höhe mit dem Quecksilber im Gefäß, wie dies nach dem Gesetze der kommunizierenden Röhren geschehen sollte, sondern bleibt in der Röhre in einer Höhe von ungefähr 76 cm über dem Quecksilber im Gefäße stehen.

(Fig. 97.)



Über dem Quecksilber in der Röhre befindet sich ein luftleerer Raum, über dem Quecksilber im Gefäße atmosphärische Luft. Der Druck, welchen diese auf die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße ausübt, hält also einer Quecksilbersäule von 76 cm das Gleichgewicht.

Ist die Röhre oben mit einem Hahn versehen oder durch einen Kork verschlossen, so fällt das Quecksilber in der Röhre, sowie man dieselbe oben öffnet und Luft eintreten läßt, und es nimmt dann in der Röhre dieselbe Höhe an wie im Gefäße.

Der hier beschriebene Versuch ist zuerst (1643) von Torricelli, einem Schüler des Galilei, angestellt worden; man nennt daher auch den luftleeren Raum über dem Quecksilber in der Röhre die Torricellische Leere.

§. 60. **Folgerungen aus dem Torricellischen Versuche.** Zufolge des Torricellischen Versuches ist der Druck der Luft gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 76 cm Höhe. Da nun Quecksilber 13,6 mal schwerer als Wasser ist, so muß eine gleich schwere Wassersäule eine 13,6 mal größere Höhe, also eine Höhe von (ungefähr) 10,3 m haben. Man würde daher, wenn man den Torricelli'schen Versuch statt mit Quecksilber mit Wasser anstellen wollte, dem Rohre eine Länge von mehr als 10 m geben müssen.

Der Druck, welchen die Luft auf eine Fläche von bestimmter Größe, z. B. auf 1 qcm ausübt, läßt sich auch leicht in Kilogrammen ausdrücken. Zufolge des Obigen ist dieser Druck gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche 1 qcm Grundfläche und 10,3 m Höhe hat, also gleich dem Gewichte von 1030 ccm Wasser. Da nun 1 ccm Wasser 1 g wiegt, so beträgt der Druck der Luft auf 1 qcm etwas über 1 kg. Auf eine Fläche von 1 qm übt demnach die Luft den gewaltigen Druck von mehr als 10 000 kg aus.

Den Druck der Luft haben alle in derselben befindlichen Körper zu ertragen. Daß auch weiche Körper diesen Druck auszuhalten vermögen, insbesondere auch Menschen und Tiere denselben nicht empfinden, erklärt sich daraus, daß deren Poren ebenfalls mit Luft angefüllt sind, welche dem Druck der äußeren Luft das Gleichgewicht hält. Dagegen können allerdings hohle Körper mit dünnen Wänden durch den Luftdruck zertrümmert werden, falls die Luft aus dem Innern derselben entfernt wird (s. §. 73).

Das Vorhandensein des Luftdrucks ... de **Versuch**: Wenn man ein Glas vollständig mit Wasser füllt, dann mit ... nd dieses mit der flachen Hand fest

an den Rand des Glases andrückt, so kann man das Glas umkehren und darauf die Hand wegziehen, ohne daß das Wasser ausläuft.

Auf Grund des Obigen nimmt man häufig als Maß für die Spannkraft von Gasen und Dämpfen den Druck einer Quecksilbersäule von 76 cm, welchen man als 1 **Atmosphäre** bezeichnet. Dieser Druck beträgt nach der obigen Rechnung auf 1 qcm etwas über 1, nämlich ungefähr 1,03 kg. — In der Technik versteht man unter 1 Atmosph. stets den Druck von 1 kg auf 1 qcm.

§. 61. Das Barometer. Instrumente, welche zur Abmessung des Luftdrucks dienen, führen den Namen **Barometer** (*βαρύς*, schwer). Ein solches wird in einfachster Ausführung durch den für den Torricellischen Versuch benutzten Apparat (Fig. 97) dargestellt. Die Länge der Quecksilbersäule, welche dem Luftdruck das Gleichgewicht hält, also **der Abstand der Oberfläche des Quecksilbers im verschlossenen Rohre von der Oberfläche des Quecksilbers im offenen Gefäße heißt Barometerstand.** Behufs Abmessung desselben wird das Barometer noch mit einer Einteilung (gewöhnlich in mm) versehen. — Die eben beschriebene Einrichtung des Quecksilberbarometers heißt **Gefäßbarometer.** Außerdem wird das Quecksilberbarometer noch in einer anderen Hauptform angefertigt; es ist dies das **Heberbarometer** (Fig. 98). Dasselbe besteht aus einer heberförmig gekrümmten Röhre mit einem längeren Schenkel, der geschlossen, und einem kürzeren, der offen ist.

(Fig. 98.)



Der Stand des Quecksilbers im Barometer wird auch ein wenig von der Temperatur beeinflußt. Da sich nämlich das Quecksilber wie alle Körper beim Erwärmen ausdehnt, so nimmt die Länge der Quecksilbersäule, auch ohne daß der Luftdruck sich geändert hat, etwas zu oder ab, falls das Quecksilber wärmer oder kälter wird. Diese Änderung beträgt für 1^0 ungefähr $^1/_{5500}$ der Länge. Bei genauen Barometerbeobachtungen hat man daher auch zugleich die Temperatur zu berücksichtigen. Man pflegt dann die Barometerstände auf 0^0 zu reduzieren, indem man aus der beobachteten Länge der Quecksilbersäule und aus der Temperatur die Länge berechnet, welche das Quecksilber bei 0^0 haben würde.

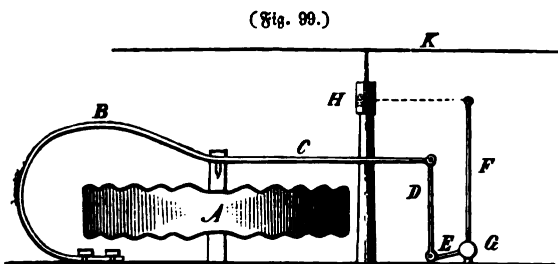
Wenn bei einem Gefäßbarometer das Quecksilber in der Röhre sinkt oder steigt, so steigt oder sinkt dementsprechend auch das Quecksilber in dem Gefäße. Dieses Steigen oder Fallen des Quecksilbers im Gefäße ist aber bei den gewöhnlichen Änderungen des Luftdrucks nur ein geringes, wenn das Gefäß beträchtlich weiter ist als die Röhre. Man kann daher, wenn es sich nicht um große Genauigkeit handelt, den Stand des Quecksilbers im Gefäße als unveränderlich ansehen und die Skala mit der Röhre fest verbinden, so daß der Nullpunkt derselben mit der Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße bei dem mittleren Barometerstande von etwa 76 cm gleiche Höhe hat. Bei solchen Barometern sind gewöhnlich Gefäß und Röhre fest verbunden, indem die Röhre sich unten aufwärts biegt und dann in das Gefäß erweitert. — Will man mit einem Gefäßbarometer genauere Beobachtungen anstellen, so hat man auch das Steigen und Fallen des Quecksilbers im Gefäße zu berücksichtigen. — Ferner hat man dann auch noch zu beachten, daß ein Gefäßbarometer den Barometerstand allemal etwas zu niedrig angiebt, da in engen Röhren das Quecksilber infolge der Kapillarität (§. 15) niedriger steht, als in weiten.

Bei den Heberbarometern haben die beiden Schenkel (wenigstens soweit, wie die Quecksilberkuppen sich bei Änderungen des Luftdrucks auf- und niederbewegen können) gleiche Weite. Da infolgedessen bei jedem Steigen oder Fallen des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel zugleich das Quecksilber im offenen Schenkel in demselben Maße fällt oder steigt, so muß man

hier entweder den Stand des Quecksilbers in beiden Schenkeln an der Einteilung ablesen, oder es muß die Einteilung sich längs der Röhre oder die Röhre längs der Einteilung verschieben lassen. — Da bei einem Heberbarometer beide Schenkel gleiche Weite haben, so kann man hier die Kapillardepression außer acht lassen.

§. 62. **Fortsetzung.** Unter Benutzung der Quecksilberbarometer stellt man noch eine zweite auf anderem Princip beruhende Art von Barometern her, die Feder- oder Aneroidbarometer (ἀ-νηρός, nicht-flüssig), welche für den Gebrauch weit bequemer sind. Ein solches besteht, wie Fig. 99 schematisch darstellt, aus einer flachen, möglichst luftleer gemachten metallenen Dose A, welche (oben und unten) durch einen mit wellenförmigen Ein- und Ausbiegungen versehenen, sehr dünnen Metalldeckel verschlossen ist. Bei zunehmendem Luftdruck biegt sich der Deckel, welcher infolge seiner Einrichtung einen sehr hohen Grad von Beweglichkeit besitzt, nach innen, während er bei nachlassendem Druck durch einen elastischen Bügel B wieder nach außen gezogen wird. Eine zusammengesetzte Hebelvorrichtung CD EG FH*) überträgt diese Bewegung auf einen langen Zeiger K, welcher über einer Einteilung spielt. Die letztere wird durch Vergleichung mit einem Quecksilberbarometer gewonnen, indem man beide Instrumente gleichzeitig bei verschiedenem Luftdruck beobachtet und den jedesmaligen Stand des Quecksilberbarometers an derjenigen Stelle des Federbarometers vermerkt, auf welcher der Zeiger gerade hinweist.

(Fig. 99.)



Bei sorgfältiger Konstruktion zeigen diese Barometer eine große Empfindlichkeit, müssen aber betreffs der Genauigkeit ihrer Angaben von Zeit zu Zeit mit einem guten Quecksilberbarometer verglichen werden.

§. 63 (62). **Schwankungen des Barometers.** Beobachtungen des Barometers zeigen, daß der Luftdruck an dem nämlichen Orte nicht beständig derselbe bleibt; der Barometerstand ist fortwährend bald schneller, bald langsamer vor sich gehenden Schwankungen unterworfen. Dieselben können in unseren Gegenden bis auf ungefähr 5 cm anwachsen. — Diese Schwankungen des Barometers zeigen einen nahen Zusammenhang mit dem Verlaufe der Witterung. In unseren Gegenden stellt sich meistens bei westlichen (insbesondere südwestlichen) Winden, welche vom Meere her feuchte Luft mit sich führen und daher gewöhnlich von Niederschlägen begleitet sind, ein tiefer Barometerstand ein; dagegen ein hoher bei östlichen (insbesondere nordöstlichen) Winden, welche aus dem Innern des Festlandes trockene Luft herbeiführen, daher klares, im Sommer warmes, im Winter kaltes Wetter bringen. Gewöhnlich sind nun die Änderungen im Luftdruck schon etwas früher bemerkbar

*) Von dem Ende des Hebels F geht eine feine Kette aus, welche sich um die drehbare Walze H schlingt, die den Zeiger K trägt; durch eine Walze verbundene Spiralfeder wird die Kette stets straff angezogen.

als die damit in Verbindung stehenden Änderungen des Wetters. Man kann daher aus den Schwankungen des Barometers einen ungefähren Schluß auf das kommende Wetter ziehen, freilich immer nur mit einem gewissen Grade von Wahrscheinlichkeit. Auch bei hohem Barometerstande finden nicht selten Niederschläge statt; andererseits kann das Wetter auch bei niedrigem Stande trocken und klar sein. Bedeutsamer als der Stand des Barometers ist für den Verlauf der Witterung im allgemeinen das Steigen oder Fallen desselben. Sehr starkes und plötzliches Fallen des Barometers ist gewöhnlich ein Vorbote heftiger Stürme. (Genaueres §. 234 u. 235.)

Die hier erwähnten völlig unregelmäßigen Schwankungen des Barometers sind in höheren Breiten im allgemeinen beträchtlicher und häufiger als in niederen. In den heißen Gegenden treten sie nur selten auf, insbesondere beim Ausbruch heftiger Stürme, wo sie dann freilich sehr bedeutend sind. — Andererseits zeigt das Barometer in der Nähe des Äquators noch sehr kleine, nur wenige Millimeter umfassende Schwankungen von großer Regelmäßigkeit. Es erreicht nämlich der Barometerstand zweimal täglich, um 10 Uhr morgens und abends, ein Maximum und zweimal, um 4 Uhr morgens und abends, ein Minimum. Diese regelmäßigen Schwankungen stehen in einem ursächlichen Zusammenhang mit dem regelmäßigen Verlaufe, den im allgemeinen die Witterungsverhältnisse der heißen Gegenden überhaupt nehmen. (Siehe ferner §. 234 u. 235.)

§. 64 (63). **Barometrische Höhenmessung.** Da sich der Druck, welchen die Luft infolge ihrer Schwere ausübt, ebenso wie der einer Flüssigkeit, in wagerechter Richtung gleichmäßig fortpflanzt, so muß er an benachbarten Stellen, welche gleich hoch gelegen sind, dieselbe Größe haben, was auch die Beobachtung bestätigt. Es ist daher ganz gleichgültig, ob man das Barometer im Zimmer oder in einem anderen nicht luftdicht verschlossenen Raume oder im Freien beobachtet. — Andererseits ist die Höhe des Ortes von wesentlichem Einflusse auf den Barometerstand. Da nämlich die über uns befindliche Luftsäule geringer wird, wenn wir in die Höhe steigen, so muß der Luftdruck mit der Höhe abnehmen, mithin auch das Barometer fallen und zwar um die Länge einer Quecksilbersäule, welche ebensoviel wiegt, als die Luftsäule, um welche wir gestiegen sind. Nun ist die Luft bei einem Barometerstande von 76 cm ungefähr 770mal leichter als Wasser (s. §. 74), also 770 . 13,6 = 10500mal leichter als Quecksilber. Man wird also um 10500 mm oder 10,5 m steigen müssen, damit das Quecksilber im Barometer um 1 mm fällt, und umgekehrt wird man, wenn an einem Orte A das Barometer auf 760 mm und an einem anderen Orte B zu derselben Zeit nur auf 759 mm steht, hieraus schließen können, daß B um 10,5 m höher liegt als A. Da aber zufolge des Mariotteschen Gesetzes die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe abnimmt, so wird das Barometer nicht in demselben Verhältnisse fallen, in welchem man steigt. So wird man z. B. in einer Höhe, in welcher das Barometer auf 38 cm steht, die Luft also nur noch halb so dicht ist, um 2 × 10,5 = 21 m steigen müssen, damit das Barometer um 1 mm fällt. Umgekehrt wird unter den angegebenen Verhältnissen ein Ort um 21 m höher liegen als ein anderer, wenn das Barometer an dem ersteren um 1 mm niedriger steht.

Das Angeführte zeigt, wie es möglich ist, aus den Barometerständen, welche zu gleicher Zeit an zwei Standpunkten beobachtet sind, den Höhenunterschied dieser beiden Standpunkte abzuleiten. — Bei genauen Messungen hat man auch noch die Temperatur der Luft zu berücksichtigen, da die Luft durch die Wärme stark ausgedehnt, also leichter wird.

Wegen der Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe müssen die Barometerbeobachtungen an ungleich hoch gelegenen Orten, wenn man dieselben, frei von den durch die verschiedenen Höhen hervorgerufenen Unterschiede, mit einander vergleichen will, auf ein und dieselbe Höhe, als welche man gewöhnlich den Meeresspiegel nimmt, reduziert werden, indem den beobachteten Barometerständen noch die den einzelnen Höhen über dem Meere entsprechende Anzahl von Millimetern hinzugefügt werden. — Als mittleren Barometerstand am Meere nimmt man 760 mm an; doch ist derselbe nicht überall auf dem Meere der nämliche. (Genaueres §. 234.)

(Fig. 100.)



Bezeichnen wir mit b den Barometerstand am Fußpunkte einer zu messenden Höhe (Fig. 100), mit b_1, b_2, b_3 ... aber die Barometerstände in 1, 2, 3 ... m Höhe, setzen wir ferner die Differenz, um welche das Barometer fällt, wenn wir von dem untersten Punkte aus um 1 m gestiegen sind, $b - b_1 = p_1$, dann ist p_1 offenbar die Länge einer Quecksilbersäule, welche mit der untersten Luftschicht von 1 m Höhe gleiches Gewicht hat. Übereinstimmend hiermit setzen wir noch $b_1 - b_2 = p_2$, $b_2 - b_3 = p_3$ u. s. w. Da die Dichtigkeiten der aufeinander folgenden Luftschichten, also auch ihre Gewichte sich wie die drückenden Kräfte verhalten, so ergiebt sich hieraus die Proportion

$$p_1 : p_2 = b_1 : b_2,$$

folglich auch

$$b_1 + p_1 : b_2 + p_2 = b_1 : b_2,$$

oder da

$$b_1 + p_1 = b \text{ und } b_2 + p_2 = b_1 \text{ ist,}$$

$$b : b_1 = b_1 : b_2.$$

Ganz ebenso finden wir weiter

$$b_1 : b_2 = b_2 : b_3,$$

$$b_2 : b_3 = b_3 : b_4 \text{ u. s. f.}$$

Es bilden daher, wenn wir um gleiche Höhen in der Luft emporsteigen, die zugehörigen Barometerstände die Glieder einer abnehmenden geometrischen Reihe, während diese Höhen selbst, da wir immer um eine gleiche Größe gestiegen sind, eine arithmetische Reihe darstellen.

Setzen wir den Quotienten der geometrischen Reihe = q, so erhalten wir die Gleichungen

$$b = q \,.\, b_1,$$

$$b_1 = q \,.\, b_2,$$

$$b_2 = q \,.\, b_3 \text{ u. s. w.}$$

folglich

$$b = q \,.\, b_1 = q^2 \,.\, b_2 = q^3 \,.\, b_3 \text{ u. s. w.}$$

Auf diesem Wege finden wir, wenn wir den Barometerstand in der Höhe h mit b' bezeichnen,

$$b = q^h \,.\, b',$$

also

$$\log b = h \log q + \log b'$$

und folglich

$$h = \frac{\log b - \log b'}{\log q}.$$

Da die Luft bei 0° und 760 mm Druck 13,59 × 773 = 10 500 mal leichter als Quecksilber ist, so muß das Barometer um $^1/_{10500}$ m = 0,095 mm fallen, wenn wir in dieser Luft um 1 m steigen, also das Barometer von 760 mm auf 759,905 mm herabgehen.

Demnach ist

$$q = \frac{b}{b_1} = \frac{760}{759{,}905}$$

und

$$\log q = \log 760 - \log 759{,}905 = 0{,}0000544,$$

folglich

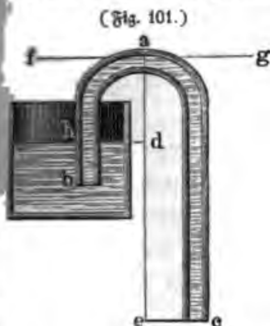
$$h = \frac{\log b - \log b'}{0{,}0000544} = 18\,400 \,.\, (\log b - \log b').$$

Die vorstehende Formel ist unter der Voraussetzung erhalten, daß die Lufttemperatur 0° beträgt; auf den Einfluß der Temperatur gehen wir hier jedoch nicht weiter ein. — Bei sehr genauen Bestimmungen hat man auch noch den Feuchtigkeitsgehalt der Luft, die Abnahme der Schwere mit der Höhe u. a. m. zu berücksichtigen.

Zufolge des Vorstehenden beträgt z. B. der mittlere Stand des Barometers auf dem Brocken (1140 m) ungefähr 660 mm, auf der Schneekoppe (1600 m) 625 mm, Mexiko (2300 m) 570 mm, Hospiz auf dem St. Bernhard (2500 m) 555 mm, Chimborasso (6300 m) 345 mm, Dhawalagiri (8200 m) 270 mm u. dgl. m.

§. 65. Saugheber. Auf den Gesetzen des Luftdrucks beruht auch der Saugheber, welcher aus einer zweischenkelig gebogenen Röhre bac (Fig. 101) besteht und dazu benutzt wird, um Flüssigkeiten aus einem Gefäße in ein anderes überzufüllen. Wird der eine Schenkel in ein Gefäß mit Wasser getaucht und hierauf der Heber auf irgend eine Art, z. B. durch Saugen mit dem Munde an der Öffnung c des äußeren Schenkels, gefüllt, so fließt das Wasser durch diesen so lange aus, als die Öffnung des äußeren Schenkels sich unter dem Spiegel des Wassers im Gefäße befindet.

(Fig. 101.)



Die Erklärung dieser Erscheinung ist folgende: Das in dem Gefäße befindliche Wasser erleidet an seiner Oberfläche den Druck der Atmosphäre, welcher ungefähr dem Drucke einer Wassersäule von 10 m Höhe gleich ist. Da dieser Druck sich durch das Wasser fortpflanzt, so erfährt ein Wasserteilchen, welches sich in dem Heber bei h in gleicher Höhe mit dem Wasserspiegel im Gefäße befindet, genau den nämlichen Druck; dagegen erleidet ein an der höchsten Stelle des Hebers bei a befindliches Wasserteilchen nur noch einen Druck, welcher gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe 10 m — ad. An der äußeren Öffnung bei c übt die Luft ebenfalls einen Druck aus, welcher gleich dem Gewichte einer Wassersäule von 10 m Höhe ist, und indem dieser Druck durch das im Schenkel ac eingeschlossene Wasser sich fortpflanzt, die Schwere des Wassers aber diesem Druck entgegenwirkt, so wird der Druck bei a nur noch durch das Gewicht einer Wassersäule von der Höhe 10 m — ac gemessen.

Hiernach erleidet das Wasser im Heber bei a einen zweifachen und zwar entgegengesetzten Druck, nämlich in der Richtung ag einen Druck = 10 m — ad, und in der Richtung af einen Druck = 10 m — ac. Der erstere übertrifft aber den letzteren um ac — ad = dc, d. h. um das Gewicht einer Wassersäule, welche die Tiefe der Öffnung, des äußeren Schenkels unter dem Spiegel des Wassers im Gefäße zur Höhe hat. Dieser Überdruck läßt sich in der angegebenen Weise für jede Stelle des Hebers nachweisen; es muß sich demnach das Wasser durch den Heber in der Richtung bac fortbewegen.

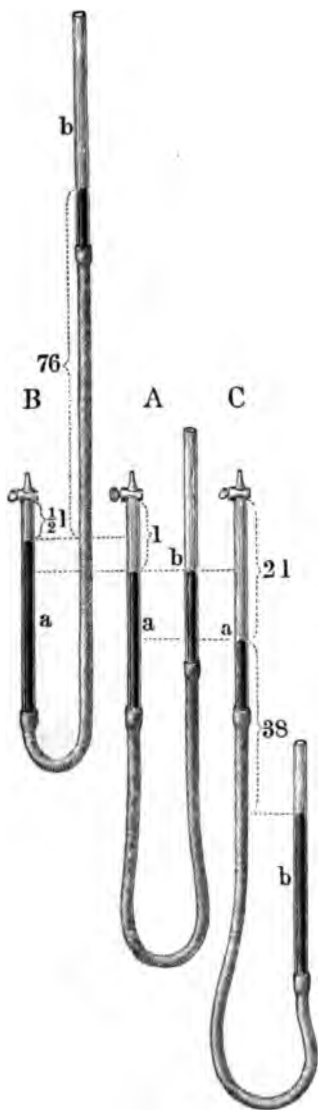
Man sieht aus dieser Darstellung auch noch, daß das Wasser aus dem Heber um so rascher abfließt, je tiefer die Öffnung des äußeren Schenkels unter dem Wasserspiegel liegt, ferner daß, wenn der äußere Schenkel kürzer ist als der eingetauchte, das Wasser aufhört auszufließen, sowie der Spiegel des Wassers im Gefäße bis zu einer gleichen Höhe mit der Öffnung des äußeren Schenkels gefallen ist, und endlich, daß das Wasser im Heber zu keiner größeren Höhe als 10 m über den Wasserspiegel im Gefäße emporsteigen kann. — Bei einem mit Quecksilber gefüllten Heber würde diese Höhe nur 76 m betragen.

Der Heber war schon den Alten bekannt; da ihnen aber die Kenntnis des Luftdrucks abging, so suchten sie die Erscheinungen desselben aus einer anziehenden Kraft des leeren Raumes (horror vacui) zu erklären.

§. 66. Mariottesches Gesetz. Wird eine abgeschlossene Luftmenge auf den halben Raum zusammengepreßt, so wächst ihre Dichtigkeit (§. 21, b), wie dies bei jedem Körper der Fall sein würde, auf das Doppelte; dabei steigt zugleich auch der

Druck, welchen sie ausübt, also ihre Spannkraft, und zwar gleichfalls auf das Doppelte. Dehnt sich die Luft in den doppelten Raum aus, so sinkt ihre Dichtigkeit und ebenso ihre Spannkraft auf die Hälfte. Vorausgesetzt ist hierbei, daß die Temperatur der Luft unverändert die nämliche bleibt. Unter dieser Voraussetzung gilt allgemein das schon §. 58 angeführte Gesetz:

(Fig. 102.)



Die Spannkraft der Luft steht in umgekehrtem Verhältnisse zu dem Volumen, in geradem Verhältnisse zur Dichtigkeit derselben.

Dieses Gesetz gilt für alle Gasarten, so lange der Druck derjenigen Grenze nicht zu nahe kommt, bei welcher das betreffende Gas flüssig wird (§. 239). — Dasselbe ist zuerst von **Boyle** in England (1662) aufgefunden und bald nachher von **Mariotte** in Frankreich (1679) bestätigt worden.

Die Richtigkeit des Mariotteschen Gesetzes kann man mit Hülfe des folgenden Apparates darthun: — Zwei Glasröhren a und b (Fig. 102, A), von denen sich die eine a durch einen Hahn verschließen läßt, sind durch einen übersponnenen Kautschukschlauch mit einander verbunden. Diese Vorrichtung ist zum größeren Teil mit Quecksilber gefüllt und an einem Ständer, welcher der Übersichtlichkeit halber in der Figur fortgelassen ist, so angebracht, daß die verschließbare Röhre a in senkrechter Stellung festsitzt, während sich die offene Röhre b auf und nieder bewegen und in beliebiger Höhe feststellen läßt.

Zum Versuche sperren wir zunächst in der Röhre a eine bestimmte Luftmenge von gewöhnlicher Dichtigkeit ab. Zu dem Zweck stellen wir bei geöffnetem Hahn die bewegliche Röhre b so ein, daß das Quecksilber die feste Röhre a nur zum Teil ausfüllt. Da beide Schenkel mit der äußeren Luft in Verbindung sind, so steht das Quecksilber in ihnen gleich hoch. Es besitzt daher, wenn wir nunmehr den Hahn schließen, die abgesperrte Luft dieselbe Dichtigkeit, wie die äußere, steht also unter einem Drucke, welcher durch den gerade herrschenden Barometerstand angegeben ist. Es betrage derselbe 16 cm; die Länge der abgesperrten Luftsäule aber sei l.

Ziehen wir jetzt den offenen Schenkel aufwärts (Fig. 102, B), so wird in diesem Quecksilber mit emporgehoben, und durch den Druck des gehobenen Quecksilbers wird dann die in dem verschlossenen Schenkel abgesperrte Luft auf einen engeren Raum zusammengepreßt. Hebt man dabei den offenen Schenkel so hoch, daß die Länge der abgesperrten Luftsäule nur noch ½ l [illegible], daß das Quecksilber im offenen Schenkel um 76 cm höher steht als im verschlossenen. [illegible] zusammengepreßte Luft hält also dem Drucke einer Quecksilbersäule von 76 cm [illegible] zusammen, also dem Drucke von 2 . 76 cm das Gleichgewicht; ihre Spann[illegible]. — Ebenso findet man, daß die Spannkraft überhaupt jedesmal [illegible] mengepreßt wird.

Um das Gesetz auch bei Verdünnung der Luft nachzuweisen, senken wir den offenen Schenkel b unter die ursprüngliche Stellung hinab, sodaß das Quecksilber in demselben niedriger steht als in dem verschlossenen (Fig. 102, C). Der Überschuß des Quecksilbers in dem verschlossenen Schenkel hält dann einem Teil des äußeren Luftdruckes das Gleichgewicht, und es dehnt sich infolge dessen die abgesperrte Luft auf einen größeren Raum aus. Senkt man nun den offenen Schenkel so tief, daß die Länge der abgesperrten Luftsäule auf 2 l anwächst, so findet man das Quecksilber im verschlossenen Schenkel um 38 cm höher stehen als im offenen. Die abgesperrte Luft hält also jetzt nur noch einem Drucke von $76 - 38 = \frac{1}{2} . 76$ cm das Gleichgewicht. Es besitzt hiernach die auf den doppelten Raum ausgedehnte Luftmasse nur noch die halbe Spannkraft.

Hat ein Gas, wenn es den Raum v einnimmt, die Spannung p und die Dichtigkeit d, bei dem Volumen v' dagegen die Spannung p' und die Dichtigkeit d', so bestehen, wenn die Temperatur unverändert geblieben ist, die Gleichungen:

1) $p : p' = v' : v$;

2) $p : p' = d : d'$.

Aus Gl. 1 folgt noch

3) $pv = p'v'$,

d. h. bei einem Gase ist das Produkt aus Druck und Volumen konstant.

Das Mariottesche Gesetz gilt übrigens selbst für Gase, welche erst bei sehr starkem Drucke flüssig werden, wie atmosphärische Luft, Stickstoff, Wasserstoff, auch schon bei mäßigem Drucke (1—20 Atmosphären) nicht mehr mit vollkommener Genauigkeit; doch sind die Abweichungen nur sehr gering.

§. 67. Anwendung des Mariotteschen Gesetzes. Aus dem Vorhergehenden folgt, daß, wenn zwei mit Luft gefüllte Räume mit einander Gemeinschaft haben, das Gleichgewicht nur dann bestehen kann, wenn die Luft in beiden dieselbe Dichtigkeit hat. Eine Ausnahme hiervon würde in dem Falle stattfinden, wenn der eine Raum bedeutend höher als der andere gelegen oder die Luft in dem einen wärmer als in dem andern wäre. Abgesehen von dergleichen Ausnahmefällen muß bei verschiedener Dichtigkeit der Luft in beiden Räumen eine Strömung aus dem Raume, in welchem die Luft größere Dichtigkeit und also auch größere Spannung hat, in den mit der weniger dichten Luft gefüllten Raum eintreten. — Ebenso ist klar, daß das Gesetz über die gleiche Höhe einer Flüssigkeit in kommunizierenden Röhren nur so lange richtig bleibt, als die über den Oberflächen des Flüssigen in beiden Schenkeln befindliche Luft dieselbe Dichtigkeit hat. Ist dagegen diese Dichtigkeit verschieden, so wird die Flüssigkeit in dem Schenkel, über welchem sich die weniger dichte Luft befindet, höher stehen als in dem Schenkel, über welchem die Luft eine größere Dichtigkeit und also auch größere Spannung besitzt.

Aus dem Angeführten ergiebt sich die Erklärung sehr vieler Erscheinungen; wir führen zunächst an:

Das Atmen. Wenn durch Ausdehnung des Brustkastens die Lungensäcke sich erweitern und also die Luft in denselben verdünnt wird, so vermag sie nicht mehr der äußeren das Gleichgewicht zu halten, und diese muß folglich durch die Luftröhre in die Lungen einströmen. Das Gegenteil findet statt, wenn durch Verengung des Brustkastens die Luft in den Lungen verdichtet wird. — Ferner führen wir an:

Das Saugen. Wenn wir das eine Ende eines Röhrchens in den Mund nehmen, während das *andere Ende in* eine Flüssigkeit eintaucht, und nun durch

Erweiterung des Brustkastens die Luft in den Lungen, im Munde und in dem Röhrchen verdünnen, so steigt die Flüssigkeit wegen des überwiegenden Druckes der äußeren Luft in dem Röhrchen in die Höhe.

Weitere Anwendungen des Mariotteschen Gesetzes enthalten die folgenden Paragraphen.

§. 68. **Stechheber.** Der Stechheber (Fig. 103) besteht aus einer Röhre, welche unten eine feine Öffnung hat und sich nach oben bauchig erweitert. Taucht man denselben in eine Flüssigkeit, so wird dieselbe innerhalb ebenso hoch als außerhalb stehen. Verschließt man nun die obere Öffnung etwa mit dem Daumen und hebt den Stechheber aus der Flüssigkeit heraus, so fließt nur ein geringer Teil der in demselben enthaltenen Flüssigkeit aus; indem nämlich hierdurch die im Heber über der Flüssigkeit befindliche Luft verdünnt wird, bekommt der äußere Luftdruck am unteren offenen Ende das Übergewicht und verhindert das Ausfließen, welches erst dann eintritt, wenn man die obere Öffnung öffnet. Die untere Öffnung muß jedoch so eng sein, daß die Luft und die Flüssigkeit sich nicht ausweichen können; entgegengesetzten Falles würden in der Röhre Luftblasen durch die Flüssigkeit emporsteigen und die über derselben befindliche Luft verdichten.

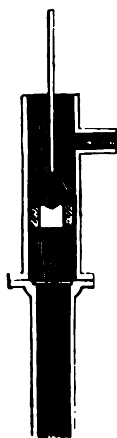
(Fig. 103.)



Aus dem nämlichen Grunde, weshalb die Flüssigkeit aus dem Heber erst dann ausfließt, wenn man die obere Öffnung öffnet, pflegt man bei Fässern, welche eine Flüssigkeit enthalten, wenn man diese abzapfen will, den Spund zu öffnen, die Deckel der Thee- und Kaffeekannen mit einer kleinen Öffnung zu versehen u. dgl. m.

§. 69. **Saug- und Druckpumpe.** Die Saugpumpe (Fig. 104) besteht aus einem Cylinder, dem Stiefel, in welchem sich ein Kolben luftdicht auf und nieder bewegt, und der Saugröhre, welche vom Boden des Stiefels bis in das zu hebende Wasser reicht. Da, wo die Saugröhre mit dem Stiefel verbunden ist, befindet sich ein Ventil a, welches sich nur nach oben öffnet; das nämliche gilt von einem im Boden des Kolbens befindlichen Ventile b. Beim Emporziehen des Kolbens schließt sich das Ventil b, a öffnet sich, und die Luft wird im Stiefel und in der Saugröhre verdünnt; sie wird aber beim Niedergange des Kolbens in der Saugröhre nicht wieder verdichtet, indem sich jetzt a schließt und b öffnet. Je mehr nun beim abwechselnden Auf- und Niedergange des Kolbens die Luft in der Saugröhre verdünnt wird, um so höher wird das Wasser in derselben durch den äußeren Luftdruck emporgetrieben, bis es in den Stiefel über das Ventil a, beim Niedergange des Kolbens auch über das Ventil b tritt und endlich beim Aufsteigen des Kolbens bis zu der Ausgußröhre gehoben wird.

(Fig. 104.)



(Fig. 105.)



Die **Druckpumpe** (Fig. 105) unterscheidet sich von der Saugpumpe nur darin, daß mit derselben nahe am Boden eine aufwärtsgehende Röhre, die **Steigröhre**, verbunden ist, an deren Mündung in den Stiefel ein in die Steigröhre sich öffnendes Ventil b befindlich ist statt des Ventils im Kolben, welches hier fehlt. Nachdem das Wasser durch das Ventil a bis in den Stiefel getreten ist, wird es beim Niedergange des Kolbens in der Steigröhre, indem sich a schließt und b öffnet, emporgetrieben.

Da der Luftdruck nur einer Wassersäule von etwa 10 m das Gleichgewicht zu halten vermag, so darf auch bei der vollkommensten Einrichtung einer Saug- oder Druckpumpe der Teil der Saugröhre zwischen dem Wasserspiegel und dem Bodenventile a diese Länge nicht erreichen. Dagegen kann bei der Saugpumpe der Stiefel und bei der Druckpumpe die Steigröhre jede beliebige Länge haben, nur daß natürlich bei vermehrter Höhe der Wassersäule die zum Heben derselben erforderliche Kraft in gleichem Verhältnis zunimmt.

Nach dem Vorhergehenden wird man auch leicht imstande sein, die Erscheinungen zu erklären, welche die gewöhnliche Handspritze und der Blasebalg darbieten.

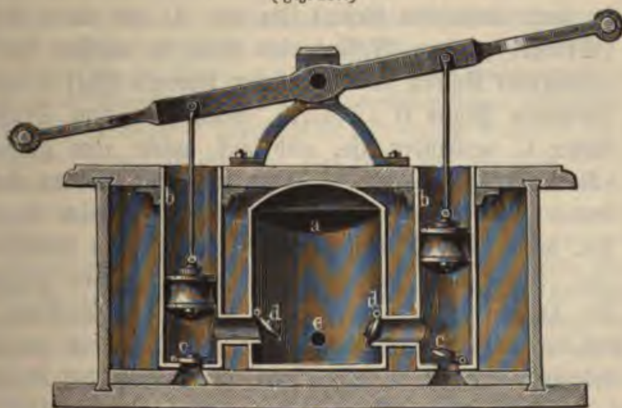
§. 70. Heronsball oder Windkessel und Feuerspritze. Der **Heronsball***) (Fig. 106) besteht aus einem luftdicht verschlossenen Gefäße, in welchem sich ein Röhrchen befindet, das unten bis nahe an den Boden des Gefäßes reicht und oben in eine feine Spitze endet. Wenn nun der Heronsball zum Teil mit Wasser gefüllt ist und die Luft in demselben auf irgend eine Art, z. B. durch Einblasen mit dem Munde, verdichtet wird, so drückt die innere verdichtete Luft stärker als die äußere und treibt das Wasser in der Röhre empor, so daß es durch die Spitze in einem feinen Strahle hervorspritzt.

(Fig. 106.)



Der Heronsball findet Anwendung als **Windkessel** bei der **Feuerspritze** (Fig. 107). Dieselbe besteht aus dem Windkessel a und zwei Druckpumpen b und b, welche in einem Kasten mit Wasser stehen. Beim Aufsteigen des Kolbens schließt sich das Ventil d, c öffnet sich, und das Wasser tritt in den Stiefel. Beim Niedergange des Kolbens aber schließt sich c, d öffnet sich,

(Fig. 107.)

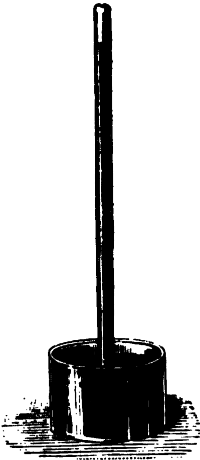


und das Wasser tritt aus dem Stiefel in den Windkessel a. Je mehr es sich hier ansammelt, um so mehr wird die Luft in dem Windkessel verdichtet. In demselben

*) **Heron** lebte um das Jahr 210 zu Alexandrien.

1 m lange Röhre wird ganz mit Quecksilber gefüllt; hierauf wird das offene Ende mit dem Finger verschlossen und, nachdem die Röhre umgekehrt worden, in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht (Fig. 97). Wird nun der Finger weggezogen, so sinkt das Quecksilber in der Röhre nicht bis zur gleichen Höhe mit dem Quecksilber im Gefäß, wie dies nach dem Gesetze der kommunizierenden Röhren geschehen sollte, sondern bleibt in der Röhre in einer Höhe von ungefähr 76 cm über dem Quecksilber im Gefäße stehen.

(Fig. 97.)



Über dem Quecksilber in der Röhre befindet sich ein luftleerer Raum, über dem Quecksilber im Gefäße atmosphärische Luft. Der Druck, welchen diese auf die Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße ausübt, hält also einer Quecksilbersäule von 76 cm das Gleichgewicht.

Ist die Röhre oben mit einem Hahn versehen oder durch einen Kork verschlossen, so fällt das Quecksilber in der Röhre, sowie man dieselbe oben öffnet und Luft eintreten läßt, und es nimmt dann in der Röhre dieselbe Höhe an wie im Gefäße.

Der hier beschriebene Versuch ist zuerst (1643) von Torricelli, einem Schüler des Galilei, angestellt worden; man nennt daher auch den luftleeren Raum über dem Quecksilber in der Röhre die Torricellische Leere.

§. 60. **Folgerungen aus dem Torricellischen Versuche.** Zufolge des Torricellischen Versuches ist der Druck der Luft gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 76 cm Höhe. Da nun Quecksilber 13,6 mal schwerer als Wasser ist, so muß eine gleich schwere Wassersäule eine 13,6 mal größere Höhe, also eine Höhe von (ungefähr) 10,3 m haben. Man würde daher, wenn man den Torricelli'schen Versuch statt mit Quecksilber mit Wasser anstellen wollte, dem Rohre eine Länge von mehr als 10 m geben müssen.

Der Druck, welchen die Luft auf eine Fläche von bestimmter Größe, z. B. auf 1 qcm ausübt, läßt sich auch leicht in Kilogrammen ausdrücken. Zufolge des Obigen ist dieser Druck gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche 1 qcm Grundfläche und 10,3 m Höhe hat, also gleich dem Gewichte von 1030 ccm Wasser. Da nun 1 ccm Wasser 1 g wiegt, so beträgt der Druck der Luft auf 1 qcm etwas über 1 kg. Auf eine Fläche von 1 qm übt demnach die Luft den gewaltigen Druck von mehr als 10 000 kg aus.

Den Druck der Luft haben alle in derselben befindlichen Körper zu ertragen. Daß auch weiche Körper diesen Druck auszuhalten vermögen, insbesondere auch Menschen und Tiere denselben nicht empfinden, erklärt sich daraus, daß deren Poren ebenfalls mit Luft angefüllt sind, welche dem Druck der äußeren Luft das Gleichgewicht hält. Dagegen können allerdings hohle Körper mit dünnen Wänden durch den Luftdruck zertrümmert werden, falls die Luft aus dem Innern derselben entfernt wird (s. §. 73).

Das Vorhandensein des Luftdrucks zeigt auch der folgende Versuch: Wenn man ein Glas vollständig mit Wasser füllt, dann mit einem Stücke Papier bedeckt und dieses mit der flachen Hand fest

an den Rand des Glases andrückt, so kann man das Glas umkehren und darauf die Hand wegziehen, ohne daß das Wasser ausläuft.

Auf Grund des Obigen nimmt man häufig als Maß für die Spannkraft von Gasen und Dämpfen den Druck einer Quecksilbersäule von 76 cm, welchen man als 1 **Atmosphäre** bezeichnet. Dieser Druck beträgt nach der obigen Rechnung auf 1 qcm etwas über 1, nämlich ungefähr 1,03 kg. — In der Technik versteht man unter 1 Atmosph. stets den Druck von 1 kg auf 1 qcm.

§. 61. Das Barometer. Instrumente, welche zur Abmessung des Luftdrucks dienen, führen den Namen **Barometer** (*βαρύς*, schwer). Ein solches wird in einfachster Ausführung durch den für den Torricellischen Versuch benutzten Apparat (Fig. 97) dargestellt. Die Länge der Quecksilbersäule, welche dem Luftdruck das Gleichgewicht hält, also der **Abstand der Oberfläche des Quecksilbers im verschlossenen Rohre von der Oberfläche des Quecksilbers im offenen Gefäße** heißt **Barometerstand**. Behufs Abmessung desselben wird das Barometer noch mit einer Einteilung (gewöhnlich in mm) versehen. — Die eben beschriebene Einrichtung des Quecksilberbarometers heißt **Gefäßbarometer**. Außerdem wird das Quecksilberbarometer noch in einer anderen Hauptform angefertigt; es ist dies das **Heberbarometer** (Fig. 98). Dasselbe besteht aus einer heberförmig gekrümmten Röhre mit einem längeren Schenkel, der geschlossen, und einem kürzeren, der offen ist.

(Fig. 98.)



Der Stand des Quecksilbers im Barometer wird auch ein wenig von der Temperatur beeinflußt. Da sich nämlich das Quecksilber wie alle Körper beim Erwärmen ausdehnt, so nimmt die Länge der Quecksilbersäule, auch ohne daß der Luftdruck sich geändert hat, etwas zu oder ab, falls das Quecksilber wärmer oder kälter wird. Diese Änderung beträgt für 1^0 ungefähr $^1/_{5500}$ der Länge. Bei genauen Barometerbeobachtungen hat man daher auch zugleich die Temperatur zu berücksichtigen. Man pflegt dann die Barometerstände auf 0^0 zu reduzieren, indem man aus der beobachteten Länge der Quecksilbersäule und aus der Temperatur die Länge berechnet, welche das Quecksilber bei 0^0 haben würde.

Wenn bei einem Gefäßbarometer das Quecksilber in der Röhre sinkt oder steigt, so steigt oder sinkt dementsprechend auch das Quecksilber in dem Gefäße. Dieses Steigen oder Fallen des Quecksilbers im Gefäße ist aber bei den gewöhnlichen Änderungen des Luftdrucks nur ein geringes, wenn das Gefäß beträchtlich weiter ist als die Röhre. Man kann daher, wenn es sich nicht um große Genauigkeit handelt, den Stand des Quecksilbers im Gefäße als unveränderlich ansehen und die Skala mit der Röhre fest verbinden, so daß der Nullpunkt derselben mit der Oberfläche des Quecksilbers im Gefäße bei dem mittleren Barometerstande von etwa 76 cm gleiche Höhe hat. Bei solchen Barometern sind gewöhnlich Gefäß und Röhre fest verbunden, indem die Röhre sich unten aufwärts biegt und dann in das Gefäß erweitert. — Will man mit einem Gefäßbarometer genauere Beobachtungen anstellen, so hat man auch das Steigen und Fallen des Quecksilbers im Gefäße zu berücksichtigen. — Ferner hat man dann auch noch zu beachten, daß ein Gefäßbarometer den Barometerstand allemal etwas zu niedrig angiebt, da in engen Röhren das Quecksilber infolge der Kapillarität (§. 15) niedriger steht, als in weiten.

Bei den Heberbarometern haben die beiden Schenkel (wenigstens soweit, wie die Quecksilberkuppen sich bei Änderungen des Luftdrucks auf- und niederbewegen können) gleiche Weite. Da infolgedessen bei jedem Steigen oder Fallen des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel zugleich das Quecksilber im offenen Schenkel in demselben Maße fällt oder steigt, so muß man

einnehmen würde, mit v″, und setzen wir der Kürze wegen den Ausdehnungskoefficienten der Gase 0,00366 = c, so erhalten wir die Proportion

$$1)\quad v'' : v' = 1 : 1 + ct.$$

Bezeichnen wir ferner den Barometerstand von 76 cm mit b, den Raum, welchen das Gas bei diesem Barometerstande und bei 0° einnehmen würde, mit v, und den Druck, welchem das in dem Ballon enthaltene Gas unterworfen ist, mit b′, so verhält sich nach dem Mariotteschen Gesetze

$$2)\quad v : v'' = b' : b.$$

Aus der Multiplikation der Proportionen (1) und (2) ergiebt sich

$$3)\quad v : v' = b' : b\,(1 + ct),$$

folglich

$$4)\quad v = \frac{b'v'}{b\,(1 + ct)}.$$

Bei genauen Abwägungen hat man ferner noch Korrektionen wegen der unvollkommenen Evakuierung des Ballons, der Ausdehnung des Glases durch die Wärme u. dgl. anzubringen.

Specifische Gewichte einiger Gase
bezogen auf

	Wasser (bei 0° u. 76 cm Barometerstand)	atmosphär. Luft	Wasserstoff
Atmosph. Luft . . .	0,00129	1	14,4
Wasserstoff	0,00009	0,07	1
Sauerstoff	0,00143	1,11	16
Stickstoff	0,00126	0,97	14
Kohlensäure	0,00197	1,52	22
Kohlenoxydgas	0,00125	0,97	14
Grubengas	0,00072	0,55	8
Leuchtgas		0,5—0,6	

§. 75. **Luftballon.** Da die atmosph. Luft flüssig und schwer ist, so muß nach dem archimedischen Principe jeder in derselben befindliche Körper soviel an seinem Gewichte verlieren, als die durch ihn verdrängte Luftmasse wiegt. Ein Körper wird folglich in der Luft in die Höhe steigen, wenn er ein geringeres Gewicht hat als eine gleich große Luftmasse. Man gelangt dazu, einen solchen herzustellen, wenn man einen Ballon von möglichst leichtem, aber luftdichtem Zeuge mit einer Gasart füllt, welche ein geringeres specifisches Gewicht hat als die atmosph. Luft. Am besten wendet man das leichteste aller Gase, den Wasserstoff an (s. d. vorig. §.). Zur Füllung großer Luftballons nimmt man häufig wegen der größeren Wohlfeilheit Leuchtgas, obschon dasselbe nur etwa 2 mal leichter ist als atmosph. Luft.

Da die Luft in den oberen Regionen eine geringere Dichtigkeit hat, so muß natürlich die Steigkraft des Ballons, je mehr er in die Höhe kommt, abnehmen und endlich der Ballon ganz aufhören zu steigen. Luftschiffer nehmen daher Ballast mit, welchen sie in größeren Höhen fortwerfen.

Die Luftballons finden Anwendung für wissenschaftliche Untersuchungen und zu Kriegszwecken. Einer allgemeineren Verwendung steht die bislang noch nicht besiegte Schwierigkeit ihrer Lenkung entgegen.

Auch ein mit atmosph. Luft gefüllter Ballon kann zum Steigen gebracht werden, wenn man unter dem Ballon, welcher unten mit einer Öffnung versehen ist, Feuer anbringt, wodurch die in demselben befindliche Luft ausgedehnt und verdünnt wi

Den ersten und zwar mit erwärmter Luft gefi Gebrüder Montgolfier 1783 emporsteigen; noch in demselben Jahre ließ Wasserstoffgas gefüllten Ballon zu Paris aufsteigen.

§. 76. Diffusion der Gase. Wenn man in einen Raum oder in zwei mit einander verbundene Räume zwei Gase bringt, so ordnen sich dieselben nicht nach Maßgabe ihres specifischen Gewichtes über einander, sondern vermischen sich überall gleichförmig. So ist z. B. Kohlensäure $1^1/_2$ mal so schwer als atmosph. Luft; wenn man aber eine mit Kohlensäure gefüllte aufrechtstehende Flasche öffnet, so mischt sich dieses Gas trotz seines größeren Gewichtes mit der leichteren atmosph. Luft und nach einiger Zeit wird man in der Flasche kaum noch eine Spur von Kohlensäure entdecken. Man nennt diese Eigenschaft der Gase, sich gegenseitig zu durchdringen, Diffusion (vergl. §. 16). Von dem Gemisch mehrerer Gase, welche nicht chemisch aufeinander wirken, gilt das (von Dalton 1802 aufgestellte) Gesetz: Die Spannkraft des Gemenges ist gleich der Summe der Spannkräfte der einzelnen Bestandteile.

Sind zwei Gase durch eine poröse Scheidewand von Thon, Gips u. dgl. getrennt, so findet durch dieselbe ein beiderseitiger Durchgang des einen Gases zu dem anderen statt; haben die Gase eine ungleiche Dichtigkeit, so dringt das leichtere rascher durch die Scheidewand hindurch als das schwerere. Die Geschwindigkeit ist daher am größten für den Wasserstoff.

Während die Erscheinung der Diosmose (§. 16) wesentlich durch die Molekularanziehung zwischen der Flüssigkeit und der porösen Scheidewand bedingt wird, ist bei der Diffusion der Gase durch eine poröse Scheidewand das Verhältnis der Geschwindigkeiten hauptsächlich von der Dichtigkeit der Gase abhängig; die Natur der Scheidewand hat hierbei nur einen sehr geringen Einfluß.

***§. 77. Absorption der Gase.** Flüssigkeiten und poröse feste Körper zeigen die Eigenschaft, luftförmige Körper in sich aufzunehmen und zu verdichten oder, wie man sagt, zu absorbieren. Hinsichtlich der Absorption der Gase durch Flüssigkeiten gilt das Gesetz: Eine Flüssigkeit absorbiert von einem Gase, solange die Temperatur ungeändert bleibt, bei jedem Druck das nämliche Volumen. Da nun nach dem Mariotteschen Gesetze (§. 66) die Dichtigkeit eines Gases in gleichem Verhältnisse mit dem Druck wächst, so muß also auch in gleichem Verhältnisse die Gewichtsmenge des absorbierten Gases zunehmen. Umgekehrt muß von einem unter starkem Drucke absorbierten Gase ein Teil entweichen, wenn dieser Druck vermindert wird, wie man z. B. an Bier, Selterswasser und anderen Kohlensäure enthaltenden Getränken zu beobachten Gelegenheit hat.

Das Absorptionsvermögen einer Flüssigkeit verringert sich bei Erhöhung der Temperatur. So fängt z. B. Bier, in einem offenen Glase erwärmt, wieder an zu schäumen; ebenso steigen aus dem Trinkwasser Luftblasen empor, wenn man dasselbe erwärmt. — Durch anhaltendes Sieden wird eine Flüssigkeit von den in ihr enthaltenen Gasen vollständig befreit. — Im übrigen ist die Menge, welche eine Flüssigkeit von einem Gase verschluckt, von der Natur der Flüssigkeit und der des Gases abhängig.

Es absorbiert Wasser (bei 15°) über 700 l Ammoniak, aber nur 1 l Kohlensäure (dagegen bei 0° 2 l), $^1/_{33}$ l Sauerstoff und $^1/_{66}$ l Stickstoff. Da hiernach der Sauerstoff vom Wasser doppelt so stark als der Stickstoff absorbiert wird, so muß auch in der vom Wasser absorbierten atmosph. Luft im Verhältnis zum Stickstoff doppelt so viel Sauerstoff als in der Atmosphäre enthalten sein, was für das Atmen der im Wasser lebenden Tiere von Nutzen sein dürfte.

Unter den festen porösen Körpern besitzt besonders ausgeglühte Kohle die Eigenschaft, Gase zu absorbieren, in ausgezeichnetem Grade, wobei sich allemal Wärme

entwickelt, die bei frisch bereiteter und in großen Massen aufgehäufter, fein pulverisierter Holzkohle sich bis zur Entzündung steigern kann.

Allgemein haben sowohl die festen wie die flüssigen Körper die Eigenschaft, von Gasen, in denen sie sich befinden, mehr oder weniger an ihrer Oberfläche, beziehungsweise in ihrem Innern zu verdichten, was stets mit einer entsprechenden Wärmeentwicklung verbunden ist.

Durch hohes Absorptionsvermögen zeichnen sich auch manche Metalle aus, so insbesondere Platin, zumal in sehr fein verteiltem Zustande als sogenannter Platinschwamm. Wenn man Platinschwamm in ein Gemisch von Sauerstoff und Wasserstoff eintaucht, so tritt infolge Verdichtung eine Vereinigung beider Gase zu Wasser ein und die hierbei entbundene Wärme steigert sich so weit, daß das Platin glühend wird.

Manche Körper haben in besonders hohem Maße die Eigenschaft, Wasserdämpfe aus der Luft zu absorbieren. Man nennt dergleichen Stoffe hygroskopische. Es gehören dahin vor allem (konzentrierte) Schwefelsäure, viele Salze, besonders Chlorcalcium (s. §. 100), ferner Haare, Darmsaiten, Fischbein, Holz, überhaupt Pflanzenfasern u. a. m.

Zweite Abteilung.
Chemische, magnetische und elektrische Erscheinungen.

Fünfter Abschnitt.
Chemische Erscheinungen.

§. 78 (79). Chemische Verbindungen, einfache Stoffe. Wenn wir zwei Gewichtsteile Eisenpulver, wie es in den Apotheken vorrätig ist, mit etwa einem Gewichtsteile Schwefelblumen mengen und das Gemenge in einem Probierglase erhitzen, so sehen wir bald von der erhitzten Stelle aus eine Glüherscheinung durch die ganze Masse sich fortpflanzen. Untersuchen wir nach dem Erkalten den gewonnenen neuen Körper, so stellt sich heraus, daß seine Eigenschaften von den Eigenschaften seiner Bestandteile durchaus verschieden sind. Waren wir vor dem Erhitzen imstande, aus dem Gemenge beider Körper mit Hülfe eines Magnets das Eisen herauszusuchen, so zeigt nach eingetretener Verbindung der Magnet nicht den mindesten Einfluß auf die erhaltene Masse mehr. Übergießen wir vor dem Erhitzen das Gemenge von Schwefel und Eisen mit verdünnter Salzsäure, so löst sich das Eisen auf und der Schwefel bleibt zurück; übergießen wir ein Stückchen des durch Erhitzen erhaltenen Körpers mit Salzsäure, so löst sich derselbe vollständig auf.

Einen Vorgang, wie den vorstehenden, nennen wir einen chemischen Prozeß; den durch die Vereinigung zweier Stoffe gebildeten neuen Körper, dessen Eigenschaften von den Eigenschaften seiner Bestandteile durchaus verschieden sind, eine chemische **Verbindung**; die Fähigkeit zweier Körper endlich, sich zu einem dritten zu vereinigen, **chemische Verwandtschaft**.

Manche Körper scheinen gar keine chemische Verwandtschaft zu haben; andere besitzen dieselbe in sehr verschiedenem Grade. Wenn man z. B. Zinnober, eine in der Natur vorkommende Verbindung von Schwefel und Quecksilber, mit Eisenpulver mengt und das Gemenge erhitzt, so geht der Schwefel des Zinnobers an das Eisen und verbindet sich mit demselben, das Quecksilber aber wird ausgeschieden; aus Schwefelquecksilber + Eisen wird Schwefeleisen + Quecksilber. Wir schließen hieraus, daß der Schwefel zum Eisen eine stärkere Verwandtschaft besitzt als zum Quecksilber.

Der chemischen Verwandtschaft wirkt die Kohäsion entgegen; diese wird gelockert durch Wärme. Es werden daher sehr gewöhnlich chemische Prozesse durch Erwärmung derjenigen Körper, welche chemisch aufeinander einwirken sollen, eingeleitet und gefördert. In der Regel muß, da außerdem noch die chemische Anziehung nur in unmittelbarster Nähe wirkt, zur Vermittelung einer möglichst innigen Berührung von zwei Körpern, welche in eine Verbindung eintreten sollen, wenigstens der eine flüssig (oder in einer Flüssigkeit aufgelöst) oder luftförmig sein.

Lehrt die Chemie auf der einen Seite, durch Vereinigung zweier Körper neue entstehen zu lassen, so setzt sie auf der anderen Seite uns auch dazu in den Stand, zusammengesetzte Körper in ihre Bestandteile zu zerlegen. Man nennt den ersteren Vorgang eine chemische Verbindung oder Synthese, den letzteren eine chemische Zerlegung oder Analyse. Bei weitem die meisten Körper, welche wir in der Natur antreffen, sind zusammengesetzte. Bei der Zerlegung zusammengesetzter Körper gelangen wir indessen bald an eine Grenze, über welche hinaus wir die Zerlegung nicht weiter fortzusetzen imstande sind. Solche Körper, welche wir nicht weiter zu zerlegen vermögen, heißen einfache Stoffe oder Elemente. Die Chemie kennt deren bisher über 70. Zu den einfachen Stoffen gehören unter den bekannteren Schwefel, Phosphor, Eisen, Kupfer, überhaupt die Metalle u. a. m.

§. 79 (80). **Chemische Proportionen.** Erhitzen wir, um den im vorigen §. zum Ausgangspunkte gewählten Versuch noch weiter zu verfolgen, in einem mit einem Deckel versehenen Porzellantiegel ein aus gleichen Gewichtsteilen Schwefel und Eisen bestehendes Gemenge, so sehen wir, daß bei hinreichend starker Erhitzung unter dem Deckel Schwefeldämpfe hervortreten, welche sich bei ihrem Austritt an die Luft entzünden und mit bläulicher Flamme verbrennen. Hört die Entwickelung dieser Dämpfe auf, so läßt man, ohne den Deckel abzunehmen, erkalten und wägt Tiegel nebst Inhalt ab. Wird nun von neuem Schwefel zugesetzt, nochmals erhitzt und nach Erkalten abermals abgewogen, so stellt sich heraus, daß das Gewicht von Tiegel nebst Inhalt dasselbe geblieben ist. — Das in den Tiegel gebrachte Eisen hat sich also nicht mit einer beliebigen, sondern mit einer bestimmten Menge Schwefel zu Schwefeleisen vereinigt. Der überschüssig zugesetzte Schwefel ist die Verbindung mit dem Eisen nicht eingegangen, sondern hat sich verflüchtigt. Hätten wir umgekehrt statt zu viel Schwefel zu wenig zugesetzt, so wäre ein Teil des vorhandenen Eisens unverbunden geblieben und hätte mit Hülfe des Magnets aus dem zerkleinerten Schwefeleisen wieder entfernt werden können. — Wie im vorliegenden Falle Schwefel und Eisen verhalten sich auch sämtliche übrigen Stoffe.

Genaue Abwägungen haben allgemein das folgende Gesetz ergeben:

1) Wenn sich zwei Stoffe zu einer chemischen Verbindung vereinigen, so geschieht dies immer nach demselben unwandelbaren Verhältnisse. — So stehen im Schwefeleisen die Gewichte von Eisen und Schwefel stets in dem Verhältnisse 56 : 32 oder 7 : 4.

Außer dem genannten Kunstprodukte kennen wir in dem in der Natur vorkommenden Schwefelkiese eine zweite Verbindung von Eisen mit Schwefel. Dieselbe enthält aber auf 56 Teile Eisen 64 Teile Schwefel, also das Doppelte des Schwefelgehaltes im Schwefeleisen. — Verbrennen wir Holz oder Kohlen bei lebhaftem Luftzuge, so verbindet sich der Kohlenstoff des Holzes oder der Kohle mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure, einer Gasart, welche in allen schäumenden Getränken, Selterswasser, Bier u. dgl. enthalten ist. Neben der Kohlensäure entsteht aber, besonders bei schwachem Luftzuge, also wenn es an Sauerstoff mangelt, noch eine andere Verbindung des Kohlenstoffs mit [illegible] hlenoxydgas (§. 94), in welchem auf je einen Teil Kohlenstoff n [illegible] kommt als in der Kohlen-

säure. — Die angeführten Beispiele zeigen, daß zwei Stoffe sich in mehrfachen Verhältnissen mit einander vereinigen können. Dabei gilt stets das Gesetz:

2) **Wenn zwei Stoffe mehrere Verbindungen eingehen, indem die nämliche Gewichtsmenge des einen sich mit verschiedenen Gewichtsmengen des anderen verbindet, so stehen diese Mengen stets in einem einfachen, durch die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 ..... darstellbaren Verhältnisse zueinander.** — Die Zahlen, welche diese Gewichtsverhältnisse ausdrücken, nennt man **Verbindungsgewichte**.

Der Kürze wegen pflegt man jedes Element durch ein besonderes Zeichen darzustellen. Als solches nimmt man den Anfangsbuchstaben seiner lateinischen Benennung; bei Elementen mit gleichen Anfangsbuchstaben fügt man zur Unterscheidung noch einen zweiten Buchstaben des Namens hinzu. So wird z. B. Schwefel (Sulphur) durch S, Eisen (Ferrum) durch Fe bezeichnet. Diese Zeichen haben aber außerdem noch eine weitere Bedeutung; sie stellen nämlich zugleich auch die Verbindungsgewichte der Elemente dar. So bedeutet z. B. S nicht bloß Schwefel, sondern 32 Gewichtsteile Schwefel, Fe 56 Gewichtsteile Eisen u. a. m.

Nachstehende Tafel enthält die chemischen Zeichen nebst den zugehörigen Verbindungsgewichten für die wichtigeren Elemente.

Name des Elements.	Zeichen.	Verbindungs-Gewicht.	Name des Elements.	Zeichen.	Verbindungs-Gewicht.
Aluminium	Al	27	Nickel	Ni	58
Antimon (Stibium)	Sb	120	Phosphor	P	31
Arsen	As	75	Platin	Pt	194,4
Barium	Ba	137	Quecksilber (Hydrargyrum)	Hg	200
Blei (Plumbum)	Pb	206,4	Sauerstoff (Oxygenium)	O	16
Brom	Br	79,8	Schwefel (Sulphur)	S	32
Calcium	Ca	40	Silber (Argentum)	Ag	107,7
Chlor	Cl	35,4	Silicium	Si	28
Eisen (Ferrum)	Fe	56	Stickstoff (Nitrogenium)	N	14
Fluor	Fl	19	Wasserstoff (Hydrogenium)	H	1
Gold (Aurum)	Au	196	Wismut (Bismuthum)	Bi	208
Jod	J	126,5	Zink	Zn	65
Kalium	K	39	Zinn (Stannum)	Sn	118
Kobalt	Co	59			
Kohlenstoff (Carbo)	C	12			
Kupfer (Cuprum)	Cu	63,5			
Magnesium	Mg	24			
Mangan	Mn	55			
Natrium	Na	23			

Die chemischen Proportionen sind zuerst (1824) durch Berzelius in Schweden aufgestellt worden.

§. 80 (81). Atom, Molekül. Die Thatsache, daß zwei Elemente sich stets nach bestimmten Gewichtsverhältnissen miteinander verbinden, hat zu der Annahme geführt, daß alle Körper aus kleinsten, nicht weiter zerlegbaren Teilen bestehen, welche **Atome** (ἄτομος, unteilbar) genannt werden. Wenn sich nun zwei Körper,

z. B. Schwefel und Eisen, chemisch verbinden, so kann dies nach dieser Hypothese nur derart geschehen, daß sich entweder je ein Atom des einen, Eisen, mit je einem Atom des anderen, Schwefel, (zu Schwefeleisen) oder je ein Atom des einen, Eisen, mit je 2 Atomen des andern, Schwefel, (zu Schwefelkies) oder je ein Atom des einen mit 3, 4 Atomen des andern oder auch auf die Art, daß sich mehrere Atome des einen mit mehreren Atomen des andern vereinigen. Weiter nimmt die Hypothese an, daß jene Atome verschiedenes Gewicht besitzen und daß diese Gewichte eben in dem Verhältnisse stehen, welches wir im vorigen §. als Verbindungsgewicht kennen gelernt haben, weshalb die Verbindungsgewichte auch Atomgewichte genannt werden.

Treten 2 oder mehr Atome zu einer Verbindung zusammen, so entsteht ein Molekül. So bildet ein Atom Schwefel mit einem Atome Eisen ein Molekül (nicht ein Atom) Schwefeleisen; ein Atom Kohlenstoff mit zwei Atomen Sauerstoff ein Molekül Kohlensäure. Unter einem Moleküle versteht man also die kleinste für sich bestehende Menge eines Körpers, welche sich mechanisch nicht weiter teilen läßt (vergl. §. 9). Soll eine Teilung des Moleküls stattfinden, so kann dies nur auf chemischem Wege geschehen; dann erfährt das Molekül aber auch zugleich eine vollständige Änderung seiner Eigenschaften. So kann z. B. ein Wasser-Molekül mit Hülfe der Elektricität in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt werden, aber es hört dann eben auf, Wasser zu sein.

Moleküle können stofflich zusammengesetzt, sie können aber auch stofflich einfach sein. Im letzteren Falle besteht das Molekül, wie man aus Gründen annimmt, welche wir in §. 103 kennen lernen werden, (im allgemeinen) aus zwei Atomen. Wenn sich zwei Körper chemisch verbinden, so treten die Atome der Moleküle des einen mit den Atomen der Moleküle des andern zusammen und bilden in ihrer Vereinigung die Moleküle eines neuen, von jenen beiden verschiedenen Körpers. Gerade das Umgekehrte geschieht, wenn ein zusammengesetzter Körper zerlegt wird.

Mit den Atomgewichten sind zugleich die Gewichte der Moleküle, Molekulargewichte, gegeben, da das Gewicht eines Moleküls natürlich gleich der Summe der Gewichte der in demselben vereinigten Atome, bei den einfachen Stoffen folglich doppelt so groß als das Gewicht eines Atomes ist. So ist z. B. das Molekulargewicht des Wasserstoffs (1) gleich 2 des Sauerstoffs (16) gleich 32, das des Wassers, welches aus 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff besteht, gleich $2 \times 1 + 16 = 18$ u. dgl. m.

Mit Hülfe der im vorigen §. für die Elemente angegebenen Zeichen lassen sich auch die chemischen Verbindungen darstellen, indem man die einzelnen Bestandteile der Verbindung unmittelbar hintereinander setzt und durch einen dem Zeichen des Elements angehängten Index zugleich angiebt, wie viel Atome dieses Elements in einem Moleküle der Verbindung enthalten sind. So schreibt man, indem man das Metall voranstellt, Schwefeleisen FeS und deutet dadurch an, daß in einem Moleküle des gedachten Körpers ein Atom des einen mit einem Atom des anderen Bestandteils verbunden ist; ferner Wasser H_2O, da in einem Moleküle Wasser 2 Atome H mit 1 Atom O verbunden sind u. dgl. m. Wird vor das Zeichen eines Moleküls noch ein Koefficient gesetzt, z. B. $3H_2O$, so gilt derselbe für alle Elemente der Verbindung.

Besondere Gründe, auf die wir hier nicht näher eingehen können, haben zu der Annahme geführt, daß bei dem Phosphor und Arsen jedes Molekül aus 4 Atomen, beim Quecksilber und Cadmium dagegen nur aus 1 Atom besteht.

Die atomistische Theorie ist von Dalton in England (1804) aufgestellt worden.

§. 81 (82). Metalle und Metalloide. Die Elemente werden hergebrachterweise eingeteilt in Metalle und Nichtmetalle oder Metalloide. Die Metalle zeichnen sich mehrenteils durch ein beträchtliches specifisches Gewicht, besonderen Glanz, Undurchsichtigkeit, Geschmeidigkeit, Schmelzbarkeit und dadurch aus, daß sie die besten Leiter der Wärme und Elektricität sind. — Unter den angeführten Eigenschaften befindet sich indessen keine, welche den Metallen ausschließlich zukäme; auch gelten mehrere dieser Eigenschaften nicht für alle Metalle. Es ist daher auch nicht möglich, zwischen den metallischen und nichtmetallischen Stoffen eine scharfe Grenzlinie zu ziehen; vielmehr findet ein allmählicher Übergang von den einen zu den andern statt.

Einige Metalle, wie z. B. Gold und Platin, werden im reinen oder gediegenen Zustande in der Natur angetroffen; andere dagegen finden sich niemals gediegen, sondern nur in chemischer Verbindung mit andern Stoffen, besonders mit Sauerstoff und Schwefel. — Zu diesen Verbindungen gehören insbesondere die Alkalien und die Erden. Dieselben bestehen aus einem metallischen Stoffe und Sauerstoff. So sind z. B. das Kali, Natron, die Kalkerde, die Bittererde (Magnesia), die Thonerde u. s. w. Verbindungen des Sauerstoffs mit Metallen, welchen man die Namen Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium, Aluminium u. s. w. gegeben hat. Da diese Metalle nur ein geringes specifisches Gewicht besitzen, so nennt man sie auch leichte, zum Unterschiede von den schweren Metallen, welche sämtlich über 5mal schwerer als Wasser sind.

Unter den Metalloiden sind die wichtigeren: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor, Silicium, Chlor, Brom, Jod, Fluor (s. auch §. 80).

Die schweren Metalle teilt man auch in edle und unedle. Die unedlen Metalle, z. B. Zink, Eisen, Blei, verlieren, wenn sie an der Luft stark erhitzt werden, ihr metallisches Aussehen, indem sie sich an der Oberfläche mit dem Sauerstoff der Luft verbinden. Die edlen Metalle dagegen, Silber, Gold und Platin, können, wenn sie mit Sauerstoff verbunden sind, durch Erwärmung leicht von demselben befreit werden und verändern daher auch beim Schmelzen oder Glühen ihr metallisches Aussehen nicht (verbinden sich nicht mit Sauerstoff).

Die natürlichen Verbindungen der schweren Metalle mit einem nicht metallischen Stoffe, z. B. Sauerstoff oder Schwefel, nennt man gewöhnlich Erze.

Die Metalle der Alkalien, Kalium und Natrium, besitzen eine so große Verwandtschaft zum Sauerstoff, daß sie an der Luft sich rasch wieder mit dem Sauerstoff derselben verbinden und dadurch in Kali und Natron übergehen. Sogar Verbindungen, z. B. dem Wasser, welches aus Wasserstoff und Sauerstoff besteht, vermögen sie bei gewöhnlicher Temperatur den Sauerstoff zu entziehen (vergl. §. 86). Bringt man ein Stückchen Kalium auf Wasser, auf welchem dasselbe wegen seines geringen specifischen Gewichtes schwimmt, so entsteht eine lebhafte Verbrennung, indem das Kalium sich mit dem Sauerstoff des Wassers verbindet, und durch die hierbei auftretende Wärme der Wasserstoff sich entzündet. Die Metalle Kalium und Natrium werden daher unter Steinöl (Petroleum), welches keinen Sauerstoff enthält, aufbewahrt. Das Metall der Magnesia, Magnesium, verbrennt, wenn es entzündet wird, mit äußerst lebhaftem Glanze und wird daher zu starken Beleuchtungen, welche nur eine kurze Dauer erfordern, insbesondere in der Photographie benutzt. Das Metall der Thonerde, Aluminium, welches dem Silber ähnlich, aber leichter als Glas ist, wird vorzüglich zu Legierungen verwandt.

Die Zerlegung der Alkalien und Erden ist zuerst von Davy in England (1807) mit Hülfe des elektrischen Stromes ausgeführt worden. (Siehe auch §. 151, a.)

§. 82 (83). **Sauerstoff** (O = 16). Wird in einem Probiergläschen Quecksilberoxyd (HgO) erhitzt, so findet eine Zerlegung desselben statt. Während sich an dem oberen kälteren Teile des Glases Quecksilber anfangs in Form kleiner Tropfen, bei längerer Dauer des Versuches als Spiegel niederschlägt, füllt sich der Probiercylinder mit einer Luftart, welche einen hineingebrachten glimmenden Holzspan zum lebhaften Verbrennen bringt. Diese Luftart nennen wir Sauerstoff. — Den durch die Erhitzung bewirkten Zersetzungsprozeß können wir durch die Gleichung darstellen:

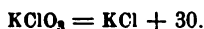


$$HgO = Hg + O.$$

Aus dieser Gleichung folgt nach §. 79, daß 200 + 16 Gewichtsteile Quecksilberoxyd 16 Gewichtsteile Sauerstoff liefern.

Der Sauerstoff ist ein farbloses Gas, geschmacklos, geruchlos und etwas schwerer als atmosphärische Luft. Er ist sowohl zum Atmen wie zum Verbrennen der Körper erforderlich. Im reinen Sauerstoffgase verbrennen angezündete Körper unter weit stärkerer Licht- und Wärmeentwickelung als in der atmosphärischen Luft, welche nur ungefähr ein Fünftel Sauerstoff enthält, indem die übrigen vier Fünftel aus Stickstoff bestehen; selbst solche Körper, welche in der atmosphärischen Luft nicht brennbar sind, können im Sauerstoffgase verbrannt werden. Ein feiner Eisendraht oder eine Uhrfeder lassen sich im Sauerstoffgase unter lebhaftem Funkensprühen verbrennen; Phosphor und Magnesium verbrennen im Sauerstoffgase mit einem Lichte, welches dem Sonnenlichte an Glanz gleichkommt; glimmende Kohle verbrennt mit einem glänzenden Lichte, Schwefel mit einer schönen blauen Flamme, Natrium, welches in einem eisernen Löffelchen brennend in den Sauerstoff gebracht wird, mit intensiv gelbem Lichte u. dgl. m.

Am bequemsten erhält man den Sauerstoff aus chlorsaurem Kali, $KClO_3$. Wird dieses vorsichtig bis zum Schmelzen erhitzt, so entweicht der Sauerstoff und Chlorkalium, ein dem Kochsalz ähnlicher Körper, bleibt zurück. Die Zersetzung erfolgt nach der Gleichung:



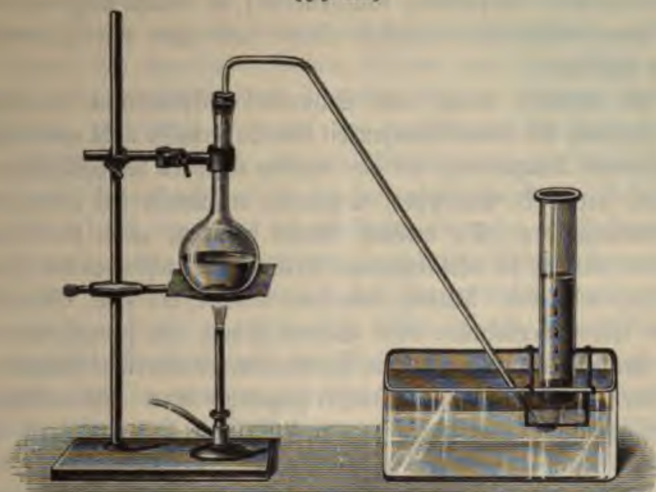
$$KClO_3 = KCl + 3O.$$

Mithin liefern 39 + 35,4 + 3 × 16 = 122,4 Gewichtsteile chlorsaures Kali 74,4 Gewichtsteile Chlorkalium und 48 Gewichtsteile Sauerstoff.

Man erhitzt das chlorsaure Kali in einem gläsernen Kolben (Fig. 111). Mit dem Kolben ist vermittelst eines durchbohrten Korkes ein ebenfalls gläsernes Rohr, Entbindungsrohr, luftdicht verbunden, welches in ein Gefäß mit Wasser, eine pneumatische Wanne, taucht. Das Entbindungsrohr reicht mit seiner Mündung unter die Öffnung einer in der pneumatischen Wanne angebrachten Brücke, welche über der Öffnung eine mit Wasser ganz angefüllte, umgekehrt gestellte Flasche trägt. Das aus dem chlorsauren Kali bei der Erhitzung sich entwickelnde Gas gelangt durch die Entbindungsröhre unter die Mündung der umgekehrt gestellten Flasche und steigt in derselben in die Höhe, während das Wasser derselben in die Wanne abfließt. Das Gas, welches zuerst entweicht, ist kein reines Sauerstoffgas, sondern mit atmosphärischer Luft vermischt. Man läßt daher erst einige Gasblasen entweichen, ehe man das Gas auffängt. — Die Gasentwickelung findet um vieles rascher und bei geringerer Hitze statt, wenn man das chlorsaure Kali mit einem gleichen Gewichte Braunstein (Mangansuperoxyd) vermengt. Der Braunstein bleibt hierbei unzersetzt; man kennt den Grund noch nicht sicher, warum durch die Beimengung desselben die Zersetzung des chlorsauren Kalis beschleunigt wird. — Bei Versuchen mit

chlorsaurem Kali ist übrigens Vorsicht anzuempfehlen, da dasselbe beim Zusammenreiben mit Schwefel, Kohle und andern brennbaren Körpern, sowie auch in der Berührung mit Schwefelsäure leicht explodiert.

(Fig. 111.)



Am wohlfeilsten ist die Darstellung des Sauerstoffs aus Braunstein, MnO_2, welchen man in einer eisernen Retorte bis zum starken Glühen erhitzt. Es entweicht dann ein Teil des Sauerstoffs nach der Gleichung: $3MnO_2 = Mn_3O_4 + 2O$.

Unter Umständen geht der Sauerstoff in einen verdichteten Zustand über, in welchem er $1\frac{1}{2}$ mal schwerer ist als im gewöhnlichen, indem sich 3 Atome zu einem Molekül vereinigen. Diese besondere (allotropische) Modifikation (O_3) des Sauerstoffs, Ozon (ὄζειν, riechen) genannt, unterscheidet sich schon äußerlich von dem gewöhnlichen Sauerstoff durch einen eigentümlichen Geruch. Als Ozon zeigt der Sauerstoff ferner eine besonders große Neigung, sich mit anderen Körpern zu verbinden, indem das Ozon unter Abgabe von je 1 Atom (O) auf je 1 Molekül (O_3) leicht wieder in den gewöhnlichen Sauerstoff (O_2) übergeht. Das Ozon entsteht z. B., wenn elektrische Funken durch Luft schlagen oder Phosphor in feuchter Luft liegt. Es findet sich in der Wald- und Seeluft und besonders auf hohen Bergen vor; dagegen fehlt es fast gänzlich in Räumen, in denen sich viele Menschen aufhalten. (Siehe auch §. 99, Anm.)

Der Sauerstoff ist zuerst 1774 von Priestley in England und 1775 von Scheele in Schweden dargestellt worden. Das Ozon wurde 1839 von Schönbein in Basel entdeckt.

§. 83 (84). **Verbrennung.** Indem die Körper in der atmosphärischen Luft oder im Sauerstoffgase verbrennen, verbinden sie sich mit diesem und nehmen hierbei an Gewicht zu. So ist z. B. der beim Verbrennen des Eisens im Sauerstoffgase entstandene schwarze und leicht zerreibliche Körper oder auch der beim Glühen des Eisens in der Luft auf demselben entstehende Glühspan oder Hammerschlag eine Verbindung des Eisens mit Sauerstoff. Das Eisen nimmt hierbei genau soviel an Gewicht zu, als der verzehrte Sauerstoff wiegt.

Daß die Asche, welche Holz oder Kohlen nach dem Verbrennen zurücklassen, weit weniger wiegt als diese Körper vor dem Verbrennen, kommt daher, daß die Produkte dieser Verbrennung größtenteils gasförmig sind und entweichen.

Brennbar können natürlich nur solche Körper sein, welche wenig oder gar keinen Sauerstoff *enthalten und daher noch* Sauerstoff aufzunehmen vermögen. Schwefel,

Phosphor, Eisen können verbrannt werden, weil sie gar keinen Sauerstoff enthalten; Holz ist brennbar, weil es verhältnismäßig wenig Sauerstoff, aber viel Kohlenstoff und Wasserstoff enthält. Kieselsteine, Kalksteine u. s. w. können nicht verbrannt werden, denn die in ihnen enthaltenen einfachen Stoffe sind schon mit Sauerstoff gesättigt, sie sind schon verbrannt.

Damit die Körper, welche noch Sauerstoff aufzunehmen vermögen, wirklich verbrennen, ist jedoch die bloße Anwesenheit des Sauerstoffs nicht ausreichend, sondern auch eine bestimmte Temperatur, bei den meisten Körpern Weißglühhitze, erforderlich. Einige Körper, wie z. B. Phosphor, Schwefel, entzünden sich jedoch schon bei viel geringeren Wärmegraden. Die meisten Körper brennen, wenn sie einmal entzündet sind, fort, indem nämlich die verbrennenden Teile den benachbarten die zur Entzündung erforderliche Hitze mitteilen. Manche brennbare Körper, wie z. B. Graphit, Diamant, entwickeln bei ihrem Verbrennen nicht Wärme genug, um fortzubrennen; sie löschen wieder aus, wenn ihnen nicht die zum Verbrennen erforderliche Wärme anderweitig, z. B. durch einen andern brennenden Körper zugeführt wird. Eisen brennt angezündet im Sauerstoffgase fort, aber nicht in atmosphärischer Luft, weil es in jenem mit lebhafterer Wärmeentwickelung verbrennt.

Brennende Körper können wieder ausgelöscht werden durch Entziehung des Sauerstoffs und durch Abkühlung. So löschen wir gewöhnlich das Feuer durch Wasser aus, welches die brennenden Körper abkühlt und, indem es die Oberfläche derselben bedeckt, den Zutritt der Luft abhält.

Ein Feuer in einem gänzlich abgesperrten Raume brennt allmählich immer schwächer, indem der Sauerstoffgehalt der Luft sich vermindert, und wenn diese Verminderung einen gewissen Grad erreicht hat, löscht der brennende Körper aus. Umgekehrt wird das Verbrennen durch beständiges Erneuern der Luft vermöge des Sauerstoffgehaltes derselben befördert. Dies ist der Zweck der Gebläse und der Schornsteine, welche den Luftzug begünstigen.

Die Körper können sich jedoch auch ohne die Erscheinung von Feuer, d. h. ohne bedeutende Licht- und Wärmeentwickelung, mit Sauerstoff verbinden. So besteht das Rosten des Eisens, das Anlaufen des Bleies und Zinks in einer langsamen Vereinigung dieser Metalle mit Sauerstoff, bei welcher die Wärmeentwickelung so gering ist, daß wir sie für gewöhnlich nicht wahrzunehmen vermögen.

Auch die tierische Wärme beruht auf einem Verbrennungsprozesse. Indem der in der Luft enthaltene Sauerstoff, welcher beim Atmen in den Lungen von dem Blute aufgenommen wird, beim Kreislauf des letzteren nach allen Teilen des Körpers hingeführt wird, geht er mit dem im Körper enthaltenen Kohlenstoff und Wasserstoff gasförmige Verbindungen, Kohlensäure und Wasserdampf, ein, welche zum Teile ausgeatmet, zum Teile durch Ausdünstung ausgeschieden werden.

Wenn man ein Stückchen Phosphor in einem Gefäße mit heißem Wasser übergießt und dann vorsichtig durch ein langes, bis zu dem Phosphor auf den Boden des Gefäßes reichendes Röhrchen Luft einbläst, so entzündet sich der Phosphor. Dieser Versuch zeigt deutlich, daß zum Verbrennen zweierlei erforderlich ist, erstens die Anwesenheit von Sauerstoff, mit welchem sich der zu verbrennende Körper verbinden kann, und zweitens ein gewisser Wärmegrad.

Daß das Schießpulver, welches ein Gemenge von ungefähr 6 Teilen Salpeter, 1 Teil Kohle und 1 Teil Schwefel ist, auch ohne Zutritt der Luft verbrennt, beruht darauf, daß der Salpeter, welcher viel Sauerstoff enthält (s. §. 91), den größten Teil desselben zur Verbrennung der Kohle und des Schwefels abgiebt.

§. 84. Chemische Energie. Die Erscheinung von Wärme und Licht findet nicht bloß statt, wenn die Körper sich mit Sauerstoff verbinden. So geht z. B. nach §. 78 auch die Vereinigung von Schwefel und Eisen unter lebhaftem Glühen vor sich. Überhaupt können wir es als ein allgemeines Naturgesetz aussprechen, daß, wenn zwei Körper sich chemisch verbinden, Wärme und bei lebhaftem Verlaufe des Prozesses auch Licht entwickelt wird (s. auch §. 99). — Wärme ist aber imstande, mechanische Arbeit zu leisten, wie man dies deutlich an der Dampfmaschine sieht. Indem bei einer solchen Maschine die durch Verbrennung von Steinkohlen erzeugte Wärme Wasser in Dampf verwandelt, der seinerseits ein starkes Bestreben zeigt sich auszudehnen, wird durch die Kraft des gebildeten Dampfes ein Kolben in Bewegung gesetzt, diese Bewegung aber dazu verwendet, mechanische Arbeiten der mannigfaltigsten Art zu verrichten. Der bewegte Kolben der Dampfmaschine verdankt somit seine Energie, d. h. seine Fähigkeit, Arbeit zu leisten (§. 45), unmittelbar dem in der Maschine entstehenden Wasserdampf; das Wasser aber hat seine Fähigkeit, als Dampf Arbeit zu leisten, dadurch erhalten, daß ihm von der brennenden Steinkohle Wärme zugeführt wurde. Demnach ist die Energie, welche in dem bewegten Kolben zum Vorschein kommt, ursprünglich in der Steinkohle enthalten, und es beruht die Thätigkeit einer Dampfmaschine darauf, daß zunächst der in den Kohlen steckende Arbeitsvorrat durch Verbrennung der Kohle in Wärme, die Wärme aber dann weiter in die Spannkraft des Wasserdampfes, diese Energie schließlich in die Energie des bewegten Kolbens umgewandelt wird.

Zufolge der vorstehenden Ausführungen enthalten Kohlen, Holz, überhaupt alle brennbaren Körper chemische Energie, welche sich beim Verbrennen der Körper in eine andere Form der Energie, in Wärme, umwandelt. Dasselbe gilt allgemein von Körpern, welche chemische Verwandtschaft zu anderen besitzen, insbesondere also von den chemischen Elementen, da erfahrungsmäßig die Vereinigung chemischer Elemente zu einer Verbindung stets von einer Wärmeentwicklung begleitet ist.

Körper, welche Arbeitsvorrat in Form von chemischer Energie enthalten, sind insbesondere auch Schießpulver, Dynamit, überhaupt alle Sprengstoffe, ferner Knallgas (§. 87) u. a. m.

§. 85. Verbindungen des Sauerstoffs. Die Verbindungen des Sauerstoffs werden im weiteren Sinne Oxyde, der Prozeß, durch welchen ein Körper sich mit Sauerstoff verbindet, wird Oxydation genannt. Die im §. 83 erörterte Verbrennung fällt also ebenfalls unter den Begriff der Oxydation.

Wird Phosphor und Natrium in Sauerstoff verbrannt, und geschieht diese Verbrennung in Flaschen, deren Boden mit etwas Wasser bedeckt ist, so lösen sich die Verbrennungsprodukte, welche anfangs das Gefäß in Gestalt weißer Nebel erfüllen, bald in dem vorhandenen Wasser auf. Durch Auflösung des vom Phosphor erhaltenen Verbrennungsproduktes nimmt das Wasser einen sauren, durch Auflösung der durch Verbrennung des Natriums erhaltenen Verbindung einen laugenhaften Geschmack an. Die im Wasser löslichen Sauerstoffverbindungen von saurem Geschmack nennen wir Säuren, die von laugenhaftem Basen. — Zur Unterscheidung von Säuren und Basen kann man sich auch der Lackmustinktur, der Auflösung eines Pflanzenfarbstoffes, bedienen, welche von Säuren rot gefärbt wird, während Basen die durch

Säure gerötete Lackmustinktur wieder blau färben. Statt der Lackmustinktur selbst wendet man gewöhnlich Papier an, welches durch Eintauchen in dieselbe blau gefärbt ist; soll dieses Papier zur Prüfung auf Basen benutzt werden, so wird es vorher durch Eintauchen in eine verdünnte Lösung einer Säure gerötet.

Verbindet sich ein Element mit Sauerstoff in verschiedenen Verhältnissen, so unterscheidet man verschiedene Oxydationsstufen. Haben die Verbindungen eines Metalls mit Sauerstoff den Charakter einer Base, so nennt man diejenige, welche die größere Menge Sauerstoff enthält, Oxyd, die mit der kleineren Menge Sauerstoff Oxydul. So bildet z. B. das Eisen mit dem Sauerstoff zwei Verbindungen, von denen die eine $1\frac{1}{2}$ mal soviel Sauerstoff enthält als die andere. Die erstere heißt Eisenoxyd (Fe_2O_3), die letztere Eisenoxydul (FeO). — Geht ein Metall mit Sauerstoff eine Verbindung ein, welche mehr oder weniger Sauerstoff als das Oxyd enthält, aber weder zu den Säuren noch zu den Basen gehört, so wird sie im ersteren Falle Superoxyd, im letzteren Suboxyd genannt. So giebt es z. B. von dem Mangan außer dem Manganoxydul (MnO) und dem Manganoxyd (Mn_2O_3) die noch sauerstoffreichere Verbindung Mangansuperoxyd (MnO_2), welche als Mineral den Namen Braunstein führt.

Das Gegenteil der Oxydation, also die Befreiung vom Sauerstoff, wird Desoxydation, bei den Metallen gewöhnlich Reduktion genannt. — Bei den edlen Metallen reicht die bloße Erhitzung hin, um sie vom Sauerstoff zu befreien; so wurde oben Quecksilberoxyd durch bloßes Erhitzen in Quecksilber und Sauerstoff zerfällt. Bei den unedlen Metallen ist zugleich die Vermischung mit einem Körper, dem Reduktionsmittel, notwendig, welcher eine stärkere chemische Verwandtschaft zum Sauerstoff besitzt als das zu reduzierende Metall. Ein solches Reduktionsmittel ist z. B. die Kohle, welche man in den Schmelzhütten und Hochöfen mit den oxydierten Erzen mischt und anzündet, wobei sich der Sauerstoff der Erze mit der Kohle verbindet, das Metall also reduziert und geschmolzen wird.

Es giebt auch Säuren, welche gar keinen Sauerstoff enthalten; so ist z. B. die Salzsäure eine Verbindung von Chlor (§. 99) mit Wasserstoff. — Ferner sind auch nicht sämtliche Säuren wie Basen im Wasser löslich; unlösliche Verbindungen können aber weder auf den Geschmack noch auf Lackmuspapier einwirken. Wie wir weiter unten (§. 101) sehen werden, ist das entscheidende Kennzeichen der Säuren und Basen, daß sie durch gegenseitige Einwirkung Salze bilden. Zu den Basen rechnen wir die Oxyde und Oxydule sämtlicher Metalle, sowie außerdem noch das Ammoniak, eine Verbindung von Stickstoff mit Wasserstoff.

Da die Verbindungen der nichtmetallischen Körper mit Sauerstoff keine Salze mit Säuren bilden, also nicht als Basen angesehen werden können, so verbindet man hier mit der Benennung Oxyd oder Oxydul niemals den Begriff einer Base. So ist z. B. das Kohlenoxydgas eine neutrale Verbindung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff.

§. 86. **Wasserstoff** (H = 1). Bringt man vermittelst einer Pincette in einen Probiercylinder, welcher mit Wasser angefüllt, die Öffnung nach unten gekehrt, in einer pneumatischen Wanne steht, ein Stückchen Natrium, so steigt dasselbe in dem Wasser in die Höhe. Zugleich [illegible] während das Metall mehr und mehr verschwindet, lebhaft ein Ga[illegible] oberen Teile des Probiercylinders ansammelt und, falls da[illegible] wesen ist, die Gasentwicklung

also lange genug angehalten hat, schließlich das Glas vollständig anfüllt. Hebt man dann den Probiercylinder, dessen Öffnung nach unten gekehrt bleiben muß, aus dem Wasser und bringt einen brennenden Fidibus an die Öffnung, so entzündet sich das Gas und verbrennt mit schwach leuchtender Flamme. — Dieses Gas nennen wir **Wasserstoff**.

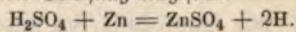
Wasserstoff ist der eine Bestandteil des Wassers, H_2O, dessen anderen Bestandteil der Sauerstoff bildet. Von dem Natrium, welches eine außerordentlich starke Verwandtschaft zum Sauerstoff hat, wird der Wasserstoff aus seiner Verbindung mit Sauerstoff verdrängt; an Stelle je eines Atomes Wasserstoff tritt je ein Atom Natrium; es bildet sich Natriumoxyd (Natron), welches sich im Wasser auflöst, der Wasserstoff wird frei. Diese Zersetzung wird durch die Gleichung dargestellt: $H_2O + 2Na = Na_2O + 2H$.

Der Wasserstoff ist ein farbloses Gas und hat, rein dargestellt, weder Geschmack, noch Geruch. Er ist der leichteste Körper, ungefähr $14^1/_2$ mal leichter als atmosph. Luft (s. §. 74). (Aus diesem Grunde muß bei Versuchen mit Wasserstoff das mit diesem Gase angefüllte Gefäß mit der Öffnung nach unten gekehrt werden, weil andernfalls das Gas sofort aus dem Gefäße entweichen würde.) Er ist zum Atmen untauglich, aber nicht direkt schädlich; endlich ist er brennbar, unterhält aber die Verbrennung nicht.

Von der letzteren Eigenschaft überzeugt man sich, wenn man einen etwas weiteren Cylinder mit Wasserstoff füllt und, während derselbe mit der Öffnung nach unten gekehrt gehalten wird, eine an einem Draht befestigte brennende Kerze in den Cylinder einschiebt. Der Wasserstoff entzündet sich und brennt an der Öffnung ruhig weiter, die tiefer in den Cylinder hineingeschobene Kerze aber erlischt, entzündet sich herausgezogen an der Wasserstoffflamme wieder, erlischt in den Wasserstoff eingetaucht von neuem u. s. w.

Am reinsten stellt man Wasserstoff her, indem man Wasser durch den elektrischen Strom in seine Bestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt.

Um es in größerer Menge herzustellen, übergießt man gewöhnlich Zinkspäne mit verdünnter Schwefelsäure, d. h. mit einer Mischung aus Schwefelsäure und Wasser. Die dabei vor sich gehende Zersetzung wird durch die Gleichung dargestellt:



$$H_2SO_4 + Zn = ZnSO_4 + 2H.$$

Auch hier wird der Wasserstoff durch Zink verdrängt, welches, indem es an Stelle der in der Schwefelsäure (H_2SO_4) vorhandenen 2 Atome H tritt, schwefelsaures Zinkoxyd $ZnSO_4$ bildet; das Wasser dient nur dazu, das schwefelsaure Zinkoxyd aufzulösen.

(Fig. 112.)



Zur Darstellung des Wasserstoffgases bedient man sich am bequemsten einer Flasche mit weitem Halse (Fig. 112), welche durch einen an zwei Stellen durchbohrten Kork verschlossen wird. Durch die eine Bohrung geht eine gläserne Röhre a, welche sich oben trichterförmig erweitert und unten bis nahe an den Boden der Flasche reicht. Durch die andere Bohrung geht das Entbindungsrohr. Man schüttet nun zuerst fein zerteiltes Zink mit etwas Wasser in die Flasche und gießt dann allmählich Schwefelsäure durch den Trichter nach. Beim Auffangen des Gases läßt man die zuerst sich entwickelnden Gasblasen entweichen, da dieselben mit atmosphärischer Luft gemengt sind, und Wasserstoff mit

atmosphärischem Sauerstoff ein Gemenge bildet, welches angezündet unter heftiger Explosion verbrennt. (Siehe den folgenden §.) Überhaupt hat man bei Versuchen mit Wasserstoff Vorsicht zu beobachten und, ehe man mit größeren Mengen experimentiert, sich davon zu überzeugen, daß unter den Wasserstoff kein Sauerstoff mehr gemengt ist. Zu dem Zwecke füllt man in der pneumatischen Wanne einen kleinen Probiercylinder mit dem zu prüfenden Gase und entzündet dasselbe. Brennt es allmählich ab, so ist dem Wasserstoff kein Sauerstoff mehr beigemengt.

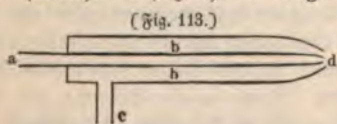
Den Wasserstoff darzustellen hat zuerst (1766) Cavendish gelehrt; Lavoisier aber hat zuerst (1783) gezeigt, daß das Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt ist, und dabei zugleich die richtige Erklärung des Verbrennungsprozesses (§. 84) gegeben. Während man vorher annahm, daß die Körper beim Verbrennen einen flüchtigen Stoff abgäben, zeigte Lavoisier im Gegenteil, daß sie sich dabei mit Sauerstoff verbinden und infolgedessen an Gewicht zunehmen. Indem er Wasserdämpfe über glühende Eisenspäne leitete, verband sich der Sauerstoff des Wassers mit dem Eisen und der Wasserstoff wurde frei. Das Eisen hatte an Gewicht zugenommen, und diese Zunahme war zusammen mit dem Gewichte des entbundenen Wasserstoffs gleich dem Gewicht der zersetzten Wasserdämpfe. — Indem so durch Lavoisier der sorgfältige Gebrauch der Wage in die Chemie eingeführt wurde, ergab sich überall die Bestätigung des Satzes von der Erhaltung der Materie, welcher die Grundlage der wissenschaftlichen Chemie bildet.

§. 87. Wasser (H_2O). Das Wasser besteht dem Volumen nach aus 2 Teilen Wasserstoff und 1 Teile Sauerstoff oder dem Gewichte nach, da der Sauerstoff 16mal so schwer ist als der Wasserstoff, aus 1 Gewichtsteile Wasserstoff und 8 Gewichtsteilen Sauerstoff.

Ein Gemenge von 1 Vol. Sauerstoff und 2 Vol. Wasserstoff heißt Knallgas. Es kann schon durch den elektrischen Funken entzündet werden und verbrennt mit einer heftigen Explosion, wobei Wasser gebildet wird. Die 3 Volume Knallgas verdichten sich zwar bei ihrer chemischen Verbindung zu 2 Volumen Wassergas, Dampf (bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke, s. §. 74); infolge der beim Verbrennen entwickelten ungeheuren Hitze aber dehnen sich die 2 Volume Dampf in einen vielmal größeren Raum aus, als die 3 Volume Knallgas vor dem Verbrennen einnahmen.

Man benutzt das Knallgas, um die stärksten Hitzegrade hervorzubringen, welche wir zu erzeugen imstande sind. Da eine Mischung beider Gase ohne Gefahr einer Explosion nicht im voraus hergestellt werden darf, so füllt man von zwei Gasometern den einen mit Sauerstoff, den andern mit Wasserstoff und mischt vermittelst eines Daniellschen Hahnes beide Gase erst in dem Momente, in welchem ihre Vereinigung erfolgt. Ein solcher Daniellscher Hahn besteht, wie die schematische Darstellung der Fig. 113 zeigt, aus zwei konzentrischen Röhren a und b, von denen die äußere b das seitliche Ansatzrohr c trägt. Das äußere Rohr b wird mittelst eines an c angebrachten Kautschukschlauches mit dem Wasserstoffgasometer, das innere Rohr a auf dieselbe Weise mit dem Sauerstoffgasometer in Verbindung gesetzt. Ist der durch c eintretende Wasserstoff an der Mündung d des Hahnes entzündet, so wird durch a Sauerstoff in den brennenden Wasserstoff eingeleitet, und zwar wird der Zufluß von Sauerstoff so reguliert, daß eine kleine spitze Flamme entsteht. So schwach leuchtend auch die Flamme dieses Knallgasgebläses ist, so groß ist doch die Hitze, welche dieselbe *entwickelt.* Platin, wie die am schwersten schmelzbaren Substanzen, können darin

(Fig. 113.)



geschmolzen werden; Eisendraht oder eine Uhrfeder verbrennt darin unter lebhaftem Funkensprühen; ein in die Flamme gebrachtes Stückchen Kreide wird zum lebhaften Glühen gebracht und leuchtet mit einem dem Sonnenlichte vergleichbaren Glanze (Drummonds Kalklicht).

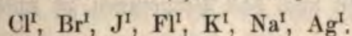
Das Wasser der Quellen und Flüsse ist nicht chemisch reines Wasser, sondern enthält verschiedene Salze aufgelöst. Man verschafft sich aus diesem reines Wasser durch Destillation. Demnächst ist das reinste Wasser das Regenwasser.

Das Meerwasser ist besonders reich an Kochsalz; dasselbe enthält 3—4 % feste Bestandteile, wovon etwa drei Viertel Kochsalz sind. — Das Wasser der Quellen und Brunnen ist gewöhnlich reich an kohlensaurem und schwefelsaurem Kalk. In geringerer Menge als im Quellwasser sind dieselben im Flußwasser enthalten. Beim Verdampfen des Wassers in den Dampfkesseln bleiben die mineralischen Bestandteile zurück und bilden den Kesselstein.

Das Wasser geht mit vielen Körpern chemische Verbindungen ein, welche man im allgemeinen Hydrate nennt. So sind z. B. der Rost und der natürliche Brauneisenstein Hydrate des Eisenoxyds. — Viele Körper, welche im Wasser löslich sind, nehmen beim Krystallisieren Wasser auf, welches Krystallwasser genannt wird und durch Erhitzung wieder ausgetrieben werden kann. So zerfallen z. B. die Krystalle der Soda oder des Glaubersalzes in trockener Wärme, indem sie ihr Krystallwasser einbüßen, binnen kurzer Zeit zu einem weißen undurchsichtigen Pulver und verlieren hierbei mehr als die Hälfte ihres Gewichtes.

§. 88. Wertigkeit. Wie wir im §. 86 gesehen haben, beruht das Freiwerden des Wasserstoffs darauf, daß andere Elemente und zwar bei der ersten Darstellung desselben Natrium, bei der zweiten Zink an dessen Stelle traten. Die für diese Erscheinungen daselbst aufgestellten chemischen Gleichungen zeigen, daß bei der ersten Darstellung an Stelle je eines Atomes Wasserstoff ein Atom Natrium getreten ist, während bei der andern Darstellung ein Zinkatom zwei Wasserstoffatome zu ersetzen vermochte. Elemente, von welchen, wie beim Natrium, ein Atom ein Atom Wasserstoff zu ersetzen vermag, heißen einwertige. Zu diesen gehören: Wasserstoff, Chlor, Brom, Jod, Fluor, Kalium, Natrium, Silber.

Man pflegt dieselben entweder mit einem an dem chemischen Zeichen rechts oben angebrachten Striche (') oder einer römischen Eins zu bezeichnen, also:



$$Cl^{I},\ Br^{I},\ J^{I},\ Fl^{I},\ K^{I},\ Na^{I},\ Ag^{I}.$$

Von andern Elementen ersetzt, wie beim Zink, ein Atom zwei Atome Wasserstoff oder allgemeiner zwei Atome eines einwertigen Elements; zu diesen zweiwertigen gehören:

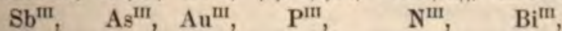
Aluminium, Barium, Blei, Calcium, Eisen, Kobalt, Kupfer, Magnesium, Mangan, Nickel, Quecksilber, Sauerstoff, Schwefel, Zink.

Wir bezeichnen dieselben mit 2 Strichen ('') oder einer römischen Zwei, also

$$Al^{II},\ Ba^{II},\ Pb^{II},\ Ca^{II},\ Fe^{II},\ Co^{II},\ Cu^{II},\ Mg^{II},\ Mn^{II},\ Ni^{II},\ Hg^{II},\ O^{II},\ S^{II},\ Zn^{II}.$$

Ebenso kennen wir dreiwertige:

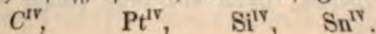
Antimon, Arsen, Gold, Phosphor, Stickstoff, Wismut.



$$Sb^{III},\quad As^{III},\quad Au^{III},\quad P^{III},\quad N^{III},\quad Bi^{III},$$

und vierwertige:

Kohlenstoff, Platin, Silicium, Zinn.



$$C^{IV},\quad Pt^{IV},\quad Si^{IV},\quad Sn^{IV}.$$

Ist ein Atom eines zweiwertigen Elements mit zwei Atomen eines einwertigen zu einem Moleküle vereinigt, so nennt man die Verbindung gesättigt; ebenso, wenn sich ein Atom eines dreiwertigen Elements mit drei Atomen eines einwertigen oder ein Atom eines vierwertigen mit vier Atomen eines einwertigen Elements verbunden hat. Beispiele derartiger gesättigter Verbindungen sind: Chlorwasserstoff (HCl), Wasser (H_2O), Ammoniak (H_3N) und Grubengas (H_4C).

Diejenigen Gewichtsmengen der Elemente, welche ein und dieselbe Menge eines anderen Elementes oder sich selbst unter einander in Verbindungen ersetzen können, heißen gleichwertig oder äquivalent. So sind die Atomgewichte einwertiger Elemente unter sich äquivalent, ebenso die Atomgewichte zweiwertiger und diejenigen dreiwertiger Elemente; dagegen ist ein Atom eines zweiwertigen Elementes zwei Atomen eines einwertigen, ein Atom eines dreiwertigen drei Atomen eines einwertigen äquivalent. Allgemein erhält man gleichwertige Mengen, wenn man das Atomgewicht eines Elementes (§. 79) durch seine Wertigkeit dividiert. Gleichwertige Mengen sind also z. B.: 1 Atomgewicht Wasserstoff ($H = 1$), Chlor ($Cl = 35,4$), $\frac{1}{2}$ Atomgewicht Sauerstoff ($\frac{1}{2}O = 8$), Zink ($\frac{1}{2}Zn = 32,5$), $\frac{1}{3}$ Atomgewicht Stickstoff ($\frac{1}{3}N = 4,7$). — Bei Verbindungen nennt man ferner diejenigen Gewichte gleichwertig, in welchen die ersetzbaren Bestandteile in gleichwertigen Mengen enthalten sind. Gleichwertig sind z. B. 1 Molekulargewicht Chlorwasserstoff ($HCl = 36,4$), $\frac{1}{2}$ Molekulargewicht Wasser ($\frac{1}{2}H_2O = 9$), Schwefelsäure ($\frac{1}{2}H_2SO_4 = 49$), Zinkvitriol ($\frac{1}{2}ZnSO_4 = 80,5$), $\frac{1}{3}$ Molekulargewicht Ammoniak ($\frac{1}{3}H_3N = 8,5$).

§. 89. **Stickstoff** ($N = 14$). Der Stickstoff findet sich vorzüglich in der atmosphärischen Luft; er ist aber auch anderweitig, besonders in der organischen Natur, mehr noch im Tier- als im Pflanzenreiche, verbreitet. Er wird aus der atmosphärischen Luft (ziemlich rein) erhalten, wenn man derselben durch Verbrennen eines leicht oxydierbaren Körpers den Sauerstoff entzieht. Verbrennt man unter einer Glocke, welche durch Wasser abgesperrt ist, ein Stück Phosphor, so wird der vorhandene Sauerstoff vollständig verzehrt; nach kurzer Zeit senken sich die weißen Nebel von Phosphorsäure, welche die Glocke anfüllen, und lösen sich im Wasser auf; das zurückgebliebene Gas ist Stickstoff.

Der Stickstoff besitzt fast nur negative Eigenschaften; er ist ein farbloses Gas, ohne Geruch und Geschmack, ein wenig leichter als atmosphärische Luft; er ist weder imstande, das Atmen noch das Verbrennen zu unterhalten und ist auch selbst nicht brennbar.

Aus trockener atmosphärischer Luft kann man Stickstoff auch auf die Weise erhalten, daß man dieselbe durch ein mit Kupferspänen gefülltes glühendes Rohr leitet, wobei sich der Sauerstoff mit dem Kupfer zu Kupferoxyd verbindet.

§. 90. **Atmosphärische Luft.** Die atmosphärische Luft ist ein Gemenge von 79 Teilen Stickstoff und 21 Teilen Sauerstoff dem Volumen nach (oder von 77 Gewichtsteilen Stickstoff und 23 Gewichtsteilen Sauerstoff). Außerdem enthält die atmosph. Luft noch in verschiedenen Verhältnissen jederzeit Wasserdämpfe, etwas Kohlensäure (ungefähr 0,04 %) und ein wenig Ammoniak (ungefähr 0,004 %).

Um den Sauerstoffgehalt der Luft zu ermitteln, hat man besondere Vorrichtungen erfunden, welche man Eudiometer nennt. Wir beschränken uns hier auf eine kurze Beschreibung von Voltas eudiometrischem Verfahren, indem uns dieses zugleich ein leicht verständliches Beispiel einer chemischen Analyse gewährt.

In eine starke, graduierte Röhre (Fig. 114), welche einerseits offen, andererseits verschlossen ist, sind nahe am verschlossenen Ende zwei Drähte luftdicht eingesenkt, sodaß ihre Spitzen in der Röhre etwas voneinander abstehen. Die Röhre wird ganz mit Wasser (oder Quecksilber) gefüllt und nach der Umkehrung in ein hohes, ebenfalls mit Wasser (oder Quecksilber) gefülltes Gefäß getaucht. Hierauf läßt man in die graduierte Röhre eine willkürliche Menge atmosphärischer Luft und dann etwas mehr Wasserstoff aufsteigen, als das Doppelte des wahrscheinlich in der eingelassenen atmosphärischen Luft enthaltenen Sauerstoffs beträgt. Wir wollen z. B. annehmen, daß die atmosphärische Luft allein in der Röhre 100, der Wasserstoff 50, also das Gemenge beider Gase 150 Raumteile einnehme. Läßt man nun zwischen den Spitzen der beiden Drähte einen elektrischen Funken überschlagen, so vereinigt sich der in der Mischung vorhandene Sauerstoff mit doppelt soviel Wasserstoff zu (flüssigem) Wasser. Man findet, daß das noch übrig bleibende Gasgemenge jetzt nur noch 87 Raumteile einnimmt, und daß also 63 Raumteile sich in Wasser verwandelt haben. Da nun $1/3$ hiervon Sauerstoff ist, so sind folglich in 100 Teilen Luft 21 Teile Sauerstoff enthalten.

(Fig. 114.)



Dieses Verhältnis ist für alle Schichten der Atmosphäre das nämliche; es findet ebensowohl in Thälern wie auf hohen Bergen, allgemein überall dort statt, wo die Luft freien Zutritt hat (vergl. §. 76). Nur solche Räume, zu denen die Luft nicht frei hinzutreten kann, wie z. B. tiefe Keller oder Gruben, in denen sich Kohlensäure, welche bedeutend schwerer ist als atmosphärische Luft, entwickelt, machen eine Ausnahme.

Daß durch das Atmen der Tiere, durch die häufigen Verbrennungsprozesse u. dgl. m. der Sauerstoffgehalt der atmosphärischen Luft im allgemeinen nicht vermindert wird, erklärt sich daraus, daß durch den Lebensprozeß der Pflanzen die Kohlensäure der atmosphärischen Luft zersetzt wird, indem die Pflanzen sich den Kohlenstoff aneignen und den Sauerstoff ausscheiden.

Die atmosph. Luft ist übrigens nicht als eine chemische Verbindung von 79 Vol. Stickstoff mit 21 Vol. Sauerstoff, sondern als ein bloßes mechanisches Gemenge beider Gase anzusehen, wie unter anderem daraus hervorgeht, daß die Volume zweier Gase, welche eine chemische Verbindung eingehn, entweder einander gleich sind oder doch in einem ganz einfachen Verhältnisse zu einander stehen (s. §. 103).

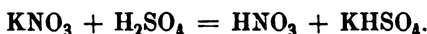
§. 91. Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff. Der Stickstoff vereinigt sich mit dem Sauerstoff in fünf verschiedenen Verhältnissen und zwar verbinden sich

2 Vol. Stickstoff mit 1 Vol. Sauerstoff zu Stickstoffoxydul, N_2O,
2 „ „ „ 2 „ „ „ Stickstoffoxyd, $N_2O_2 = 2NO$,
2 „ „ „ 3 „ „ „ dem Anhydrid der salpetrigen Säure, N_2O_3,
2 „ „ „ 4 „ „ „ Stickstoffdioxyd, $N_2O_4 = 2NO_2$,
2 „ „ „ 5 „ „ „ Salpetersäure-Anhydrid, N_2O_5.

Von den verschiedenen Oxydationsstufen des Stickstoffs ist die Salpetersäure die wichtigste. Salpetersäure-Anhydrid, d. h. wasserfreie Salpetersäure (s. §. 101)

kann dargestellt werden, indem man über erwärmtes salpetersaures Silberoxyd (Höllenstein) Chlor leitet; die Verbindung ist leicht zersetzbar, vereinigt sich aber mit Wasser zu einer beständigeren Verbindung, der Salpetersäure. Aus $N_2O_5 + H_2O$ wird $H_2N_2O_6 = 2HNO_3$.

Der Name Salpetersäure stammt daher, daß diese Säure aus dem in der Natur vorkommenden Salpeter, sowohl dem Natron- oder Chili- wie auch dem Kali- oder indischen Salpeter, dargestellt werden kann. Zu dem Zwecke übergießt man die in eine tubulierte Glasretorte gebrachten grob zerstoßenen Salpeterstücke mit dem gleichen Gewichte Schwefelsäure und erwärmt vorsichtig im Sandbade. Hierbei destilliert Salpetersäure über, welche in einer mittelst angefeuchteten Filtrierpapiers abgekühlten Vorlage kondensiert wird. In der Retorte bleibt saures schwefelsaures Kali zurück. Die dabei vor sich gehende Zersetzung wird durch die Gleichung dargestellt:



$$KNO_3 + H_2SO_4 = HNO_3 + KHSO_4.$$

Salpetersäure ist eine sehr ätzende Flüssigkeit, welche einen Teil ihres Sauerstoffs leicht an andere oxydierbare Stoffe abgiebt. Sie löst mit Ausnahme des Goldes und Platins fast alle bekannten Metalle auf. Da sie das Gold nicht angreift, wohl aber das Silber auflöst, so wird sie angewandt, um das Gold aus seinen Legierungen mit Silber abzuscheiden, weshalb sie im gewöhnlichen Leben unter dem Namen Scheidewasser bekannt ist.

Das Stickstoffdioxyd oder die Untersalpetersäure bildet bei gewöhnlicher Temperatur gelbrote Dämpfe, welche die Atmungsorgane sowie metallene Gegenstände stark angreifen; sie entsteht, wenn Salpetersäure stark erhitzt oder wenn bei der Darstellung der Salpetersäure zu wenig Schwefelsäure angewendet wird. Dieselbe löst sich in der konzentrierten Salpetersäure auf und bildet mit derselben die rauchende Salpetersäure, welche an der Luft rötliche Dämpfe ausstößt.

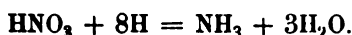
Die salpetrige Säure ist vorzüglich in den Salzen bekannt, welche beim Schmelzen salpetersaurer Salze, z. B. des Salpeters, unter Entweichung von Sauerstoff gebildet werden.

Das Stickstoffoxyd ist ein farbloses Gas, welches man erhält, wenn man Kupfer mit verdünnter Salpetersäure übergießt. Fängt man dasselbe in einem Cylinder über Wasser auf und läßt dann atmosph. Luft hinzutreten, so bilden sich gelbrote Dämpfe, ein Zeichen, daß das Gas aus der Luft Sauerstoff aufnimmt und sich zu Stickstoffdioxyd oxydiert.

Das Stickstoffoxydul ist ein farbloses Gas, welches durch Erhitzen von salpetersaurem Ammoniak gewonnen wird. Leicht oxydierbare Stoffe, wie Schwefel, Phosphor, brennen angezündet in demselben mit fast derselben Intensität, wie in reinem Sauerstoffe. Eingeatmet wirkt es berauschend und schließlich betäubend, weshalb man es auch wohl Lachgas nennt und bei Operationen anwendet.

§. 92. **Ammoniak** (NH_3). Freien Stickstoff und Wasserstoff in größeren Mengen direkt mit einander zu verbinden, ist bis jetzt noch nicht gelungen. Die Verbindung tritt nur dann ein, wenn Wasserstoff und Stickstoff in dem Augenblick, in welchem beide Elemente frei werden, im Entstehungszustande zusammentreffen. Übergießt man Zink mit einer Mischung von verdünnter Schwefelsäure und Salpetersäure, so wirkt der durch Einwirkung des Zinks auf die Schwefelsäure frei werdende Wasserstoff auf die Salpetersäure reduzierend ein und verbindet sich mit dem Sauerstoff derselben zu Wasser; der dadurch frei werdende Stickstoff aber vereinigt sich mit weiter frei werdendem Wasserstoff zu Ammoniak, NH_3, so daß also die Flüssigkeit neben schwefelsaurem Zinkoxyd schließlich auch schwefelsaures Ammoniak gelöst

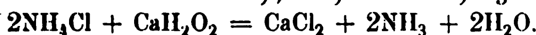
enthält. Die Einwirkung des Wasserstoffs auf die Salpetersäure wird durch die Gleichung dargestellt:



$$HNO_3 + 8H = NH_3 + 3H_2O.$$

Ebenso entsteht Ammoniak, wenn organische stickstoffhaltige Substanzen durch Fäulnis sich zersetzen. Von demselben rührt der stechende Geruch her, welchen man in Viehställen oder in der Nähe von Düngerstätten bemerkt.

In größeren Mengen wird Ammoniak hergestellt, indem man den im Handel vorkommenden Salmiak (Chlorammonium, NH_4Cl) mit gelöschtem Kalk (CaH_2O_2) und wenig Wasser in einer Kochflasche erwärmt. Es bildet sich dabei Chlorcalcium ($CaCl_2$) und Wasser, während Ammoniak entweicht, nach der Gleichung:



$$2NH_4Cl + CaH_2O_2 = CaCl_2 + 2NH_3 + 2H_2O.$$

Ammoniak ist ein farbloses Gas von stechendem Geruch, welches angefeuchtetes rotes Lackmuspapier bläut, sich also als Base charakterisiert. Es wird vom Wasser sehr begierig verschluckt; 1 Vol. Wasser kann (bei 15°) über 700 Vol. Ammoniakgas aufnehmen. Eine solche Lösung wird Ammoniakflüssigkeit oder Salmiakgeist genannt.

Wird getrocknetes Ammoniakgas durch einen elektrischen Funkenstrom in seine beiden Bestandteile Stickstoff und Wasserstoff zerlegt, so verdoppelt sich sein Volumen. Setzt man darauf zu dem Gemenge eine ausreichende Menge Chlor (s. §. 99), so vereinigt sich unter dem Einflusse des Tageslichtes dieses Chlor mit dem vorhandenen Wasserstoff zu Chlorwasserstoffsäure, welche sich, wenn man Wasser als Absperrungsflüssigkeit anwendet, in diesem auflöst. Es bleibt also nur Stickstoff und etwa überschüssig zugesetztes Chlor zurück, woraus sich in ähnlicher Weise, wie wir dies oben für die Zusammensetzung der Luft gezeigt haben, die Zusammensetzung des Ammoniaks herleiten läßt, und zwar stellt sich hierbei heraus, daß 2 Vol. Ammoniakgas aus 1 Vol. Stickstoff und 3 Vol. Wasserstoff zusammengesetzt sind.

Wie bei der Fäulnis organischer stickstoffhaltiger Substanzen, so bildet sich Ammoniak auch bei der Erhitzung derselben unter Luftabschluß. Nicht unbedeutende Mengen Ammoniak werden daher als Nebenprodukt bei der Leuchtgasbereitung aus Steinkohlen gewonnen (vergl. §. 95).

§. 93. Kohlenstoff (C = 12). Der Kohlenstoff ist nicht bloß ein Hauptbestandteil aller organischen Körper, sondern auch in der anorganischen Natur sehr verbreitet, besonders in Verbindung mit Sauerstoff als Kohlensäure. Er findet sich jedoch rein nur im Diamanten, fast rein im Kienruß, demnächst im Graphit (Reißblei). In den organischen Körpern ist der Kohlenstoff mit Sauerstoff und Wasserstoff und besonders in den tierischen Körpern und in der Steinkohle außerdem noch mit Stickstoff verbunden. Auch enthalten diese Körper meist in geringeren Mengen noch verschiedene andere, besonders erdige Stoffe, welche beim Verbrennen derselben als Asche zurückbleiben; (Holz läßt beim Verbrennen ungefähr 1 % Asche zurück).

Der Kohlenstoff besitzt die merkwürdige Eigenschaft, daß er sich uns in drei verschiedenen Zuständen darstellen kann. Im Diamanten zeigt sich uns derselbe durchsichtig und in regelmäßiger Krystallform; im Graphit kommt der Kohlenstoff undurchsichtig, metallisch glänzend und schuppig krystallisiert vor; in den verschiedenen Kohlenarten ist derselbe schwarz, undurchsichtig und amorph (ohne bestimmte Gestalt). Man nennt diese Eigenschaft, welche auch noch andere einfache und zusammengesetzte Körper besitzen, daß sie in verschiedenen Zuständen ein verschiedenes Verhalten zeigen, Allotropie*).

*) Man erklärt dieselbe nach der atomistischen Ansicht durch eine verschiedene Lagerung der Atome.

Wenn man Holz oder Steinkohlen in verschlossenen Räumen erhitzt, so entweichen die gasförmigen Bestandteile, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, und es bleibt eine ziemlich reine Kohle, vermengt mit mehr oder weniger mineralischen Bestandteilen, zurück. — Die ausgeglühten Steinkohlen führen den Namen Coaks.

Die Kohle besitzt eine ausgezeichnete Verwandtschaft zum Sauerstoff und übertrifft hierin, besonders bei erhöhter Temperatur, alle andern Körper. Man wendet daher dieselbe häufig an, um andere Körper aus ihren Verbindungen mit Sauerstoff rein darzustellen, z. B. zur Reduktion der Metalle, zur Darstellung des Kaliums, des Phosphors u. s. w.

Die dichteren Kohlen lassen sich nur schwer verbrennen, z. B. Coaks nur bei starkem Luftzuge. Der Diamant brennt im Sauerstoffgase fort, in atmosph. Luft nur dann, wenn ihm anderweitig eine große Hitze zugeführt wird. — Die poröse Kohle dagegen, welche man aus Pflanzenkörpern darstellt, entzündet sich leicht. Hierauf beruht die leichte Entzündlichkeit des Schießpulvers.

Die aus Pflanzen oder tierischen Stoffen frisch bereitete (ausgeglühte) Kohle besitzt die Eigenschaft, in ihren Poren Gase zu absorbieren (s. §. 77). — Dieselbe vermag ferner aus Flüssigkeiten Farbstoffe, Öle und andere Substanzen einzusaugen. Diese Eigenschaft kommt der tierischen Kohle in noch höherem Grade zu als der Pflanzenkohle. Man benutzt daher vorzüglich die aus Knochen bereitete Kohle zur Reinigung des Zuckers, Essigs, Branntweins u. dgl. m. — Da die Kohle gegen Fäulnis schützt, so pflegt man Pfähle, welche man in die Erde schlägt, vorher zu verkohlen. Ebenso werden Fässer, in welchen man Wasser lange Zeit aufbewahren will, inwendig verkohlt; faules Wasser wird gereinigt, indem man es durch fein pulverisierte Kohle filtriert u. dgl. m.

Der Kohlenstoff macht den Hauptbestandteil unserer Brennmaterialien, des Holzes, Torfes, der Braun- und Steinkohlen aus. Je größer der Gehalt derselben an Kohlenstoff ist, um so größer ist auch im allgemeinen die von denselben entwickelte Hitze. Das Holz besteht, auch wenn es trocken ist, nur zum kleineren Teil aus Kohlenstoff, zum größeren Teil aus Wasserstoff und Sauerstoff. Da ferner ein Körper um so weniger Sauerstoff aufzunehmen vermag, mit je mehr Sauerstoff er bereits verbunden ist, so entwickeln auch die Körper beim Verbrennen unter übrigens gleichen Umständen um so weniger Wärme, je größer ihr Gehalt an Sauerstoff ist. Holz giebt beim Verbrennen weniger Wärme ab als Steinkohle, weil es verhältnismäßig mehr Sauerstoff und weniger Kohlenstoff enthält. Holzkohlen liefern bei gleichem Gewichte eine größere Wärmemenge als Holz, weil beim Verkohlen der Sauerstoff (in Verbindung mit Wasserstoff und etwas Kohlenstoff) größtenteils ausgetrieben worden ist, und weil beim Verbrennen des Holzes ein Teil der Wärme auf diese Austreibung verwendet wird und infolge dessen verloren geht. — Aus gleichen Gründen geben geglühte Steinkohlen, Coaks, eine größere Hitze als gewöhnliche Steinkohlen.

§. 94. **Verbindungen des Kohlenstoffs mit Sauerstoff.** Der Kohlenstoff verbindet sich in mehrfachen Verhältnissen mit dem Sauerstoff; die wichtigste dieser Verbindungen ist die Kohlensäure, welche wir für gewöhnlich im gasförmigen Zustande kennen.

Die Kohlensäure (CO_2) ist in der Natur sehr verbreitet; sie ist nächst dem Sauerstoff und Stickstoff das am meisten verbreitete Gas; sie findet sich jederzeit in geringerer Menge in der atmosph. Luft (s. §. 90). An einigen Stellen, z. B. am Laacher See, in der Hundsgrotte bei Neapel und an anderen Orten, besonders in vulkanischen Gegenden, strömt dieselbe beständig aus der Erde hervor; sie findet sich ferner im Wasser der Quellen; diejenigen, welche dieselbe in großer Menge enthalten, wie z. B. das Selterser Wasser, führen den Namen Sauerbrunnen.

Endlich findet sich auch die Kohlensäure häufig in der Natur an Basen, insbesondere an Kalkerde, gebunden; der Kalkspat, der Marmor, die Kreide, der gemeine

Kalkstein bestehen aus kohlensaurer Kalkerde. Das kohlensaure Kali und Natron machen den Hauptbestandteil der Pottasche und der Soda aus u. dgl. m. Aus der Verbindung mit Kalkerde läßt sich die Kohlensäure durch Erhitzen austreiben, wie dies z. B. beim Brennen der Kalksteine in den Kalköfen geschieht. (Der gebrannte Kalk ist eine von Kohlensäure befreite Kalkerde, welche beim längern Liegen an der Luft aus dieser wieder Kohlensäure aufnimmt.)

Die Kohlensäure entwickelt sich ferner beim Verbrennen kohlenstoffhaltiger Körper, der Steinkohle, des Holzes u. s. w., beim Atmungsprozesse der Tiere, bei der Fäulnis organischer Körper, beim Gärungsprozesse des Weines, des Bieres u. dgl. m. — Die durch Verbrennung des Kohlenstoffs entstandene Kohlensäure nimmt denselben Raum ein als (bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur, §. 74) der unverbundene Sauerstoff.

Da die Kohlensäure nur eine schwache Säure ist und daher durch andere Säuren aus ihren Verbindungen mit Basen leicht ausgetrieben werden kann, so stellt man dieselbe am leichtesten dar, indem man Kreidestücke mit einer stärkeren Säure, z. B. mit verdünnter Salpetersäure, übergießt.

Das kohlensaure Gas ist farblos, riecht säuerlich, rötet angefeuchtetes Lackmuspapier, ist $1\frac{1}{2}$mal so schwer als atmosph. Luft, vermag das Verbrennen der Körper nicht zu unterhalten und ist selbst nicht brennbar. Da die Kohlensäure schwerer ist als atmosph. Luft, so kann man dieselbe aus einem Glase in ein anderes schütten; ebenso kann man ein Licht auslöschen, wenn man ein Glas mit Kohlensäure darüber ausschüttet. Die Kohlensäure ist zum Atmen schädlich, erregt Schwindel und Betäubung und wirkt rein eingeatmet tödlich, daher die häufigen Erstickungen von Menschen in Kellern, in denen Bier, Wein oder Branntwein gärt, sowie in Gruben oder Brunnen, in denen sich Kohlensäure angesammelt hat. Selbst wenn der Luft nur 1—2 % Kohlensäure beigemischt sind, können durch mehrstündiges Einatmen bedenkliche Zufälle hervorgerufen werden.*)

Vom Wasser wird die Kohlensäure in dem Verhältnis absorbiert, daß ein Volum Wasser (bei 15°) ein Volum Kohlensäure absorbiert (s. §. 77).

Eine zweite Verbindung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoffe ist das **Kohlenoxydgas** (CO), welches nur halb soviel Sauerstoff als die Kohlensäure enthält. Es ist farb- und geruchlos, vermag das Verbrennen der Körper nicht zu unterhalten, ist aber selbst brennbar; es verbrennt mit einer blauen Flamme, indem es sich zu Kohlensäure oxydiert, und entwickelt sich beim Verbrennen der Kohlen bei unvollkommenem Luftzuge; die bläulichen Flammen über brennenden Kohlenmassen rühren von demselben her. Es ist zum Atmen sehr schädlich, erzeugt Schwindel und Betäubung, und wirkt, längere Zeit eingeatmet, tödlich. Infolge zu frühen Schließens der Ofenklappen werden häufig Menschen durch dieses giftige Gas getötet.

Da die Kalkerde im Wasser in geringer Menge löslich ist, während die kohlensaure Kalkerde im (bloßen) Wasser unlöslich ist, so bietet Kalkwasser (Wasser, welches Kalkerde aufgelöst enthält) ein sehr geeignetes Mittel dar, um das kohlensaure Gas von anderen Gasen zu unterscheiden. Leitet

*) In mit Menschen erfüllten Zimmern sammelt sich die Kohlensäure bei mangelnder Ventilation leicht in größeren Mengen (bis zu 8 und mehr Prozent) an.

man nämlich dasselbe in Kalkwasser, so entsteht in diesem eine Trübung, weil sich die Kohlensäure mit der Kalkerde verbindet und der entstandene kohlensaure Kalk im Wasser unlöslich ist. — Man kann sich auf diese Art leicht überzeugen, daß durch den Atmungsprozeß Kohlensäure gebildet wird; wenn man nämlich durch ein Röhrchen in Kalkwasser atmet, so entsteht in demselben eine milchige Trübung, zum Beweise, daß der ausgeatmeten Luft Kohlensäure beigemengt ist.

Das Kohlenoxydgas erzeugt sich in unseren Öfen teils infolge nicht hinreichenden Luftzuges, teils dadurch, daß die durch Verbrennen der unteren Kohlenschichten erzeugte Kohlensäure, indem sie mit den obern glühenden Kohlen in Berührung tritt, sich durch Aufnahme von Kohlenstoff zu Kohlenoxydgas reduziert, welches dann wieder durch den mit dem Luftzuge herbeigeführten Sauerstoff zu Kohlensäure oxydiert wird.

In 2 Volumen Kohlenoxydgas ist 1 Vol. Sauerstoff enthalten; beim Verbrennen zu Kohlensäure nimmt dasselbe noch 1 Vol. Sauerstoff auf, ohne sein Volum zu verändern, sodaß die 2 Vol. der entstandenen Kohlensäure 2 Vol. Sauerstoff enthalten, also in je 1 Vol. Kohlensäure je 1 Vol. Sauerstoff enthalten ist.

§. 95. **Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff.** Der Kohlenstoff geht mit dem Wasserstoff sehr zahlreiche Verbindungen ein, von denen die meisten der organischen Natur angehören. Wir führen hier nur die beiden folgenden an.

Das leichte Kohlenwasserstoffgas oder Grubengas (CH_4) erzeugt sich häufig in Kohlenbergwerken, in Wässern, in denen organische Substanzen faulen, in Morästen und Sümpfen und strömt an einigen Orten, wo sich Steinkohlenlager finden, in großer Menge aus der Erde hervor. Es ist ungefähr halb so schwer als atmosph. Luft, zum Atmen untauglich und verbrennt mit einer gelblichen, schwach leuchtenden Flamme. Mit atmosph. Luft und besonders mit Sauerstoff vermischt und entzündet, verbrennt es mit heftiger Explosion. Auf diese Art entstehen die schlagenden Wetter in Steinkohlengruben, welche, durch die Lampen der Arbeiter entzündet, häufig Unglücksfälle veranlassen. Zum Schutze dient die Davysche Sicherheitslampe (Fig. 115), bei welcher sich die Flamme innerhalb eines länglichen Cylinders befindet, der aus einem feinen, aber engen Drahtgewebe besteht. Dieses verhindert, daß sich das außerhalb des Drahtcylinders befindliche Grubengas durch die Flamme der Lampe entzündet (vergl. §. 248).

(Fig. 115.)



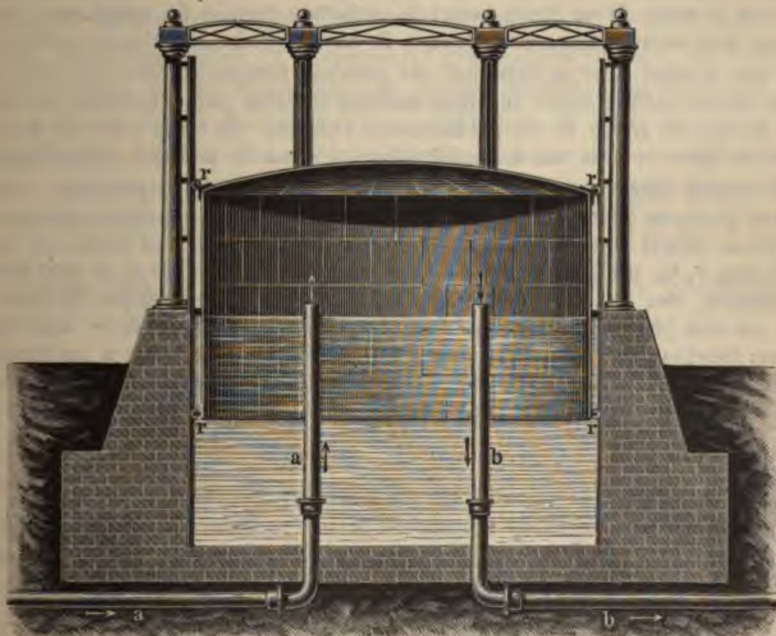
Das schwere Kohlenwasserstoffgas (C_2H_4), welches doppelt soviel Kohlenstoff als das Grubengas enthält, ist ein wenig leichter als atmosphärische Luft, hat einen unangenehmen Geruch und verbrennt mit einer hell leuchtenden Flamme. Wenn man Steinkohlen oder Holz in einem Kölbchen erhitzt, so entweichen die gasförmigen Bestandteile in Verbindung mit etwas Kohlenstoff in Form von Dämpfen und Gasen, welche sich auf bekannte Weise auffangen lassen. Man erhält so ein brennbares Gemenge von mehreren Gasen (von Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Wasserstoff, leichtem und schwerem Kohlenwasserstoff u. a. m.), untermischt mit dampfförmigen Verbindungen von Kohlenstoff und Wasserstoff. Das aus der Steinkohle erhaltene Gas ist reicher an schwerem Kohlenwasserstoffgase und brennt daher mit weit heller leuchtender Flamme als das durch die Destillation des Holzes erzeugte Gas. Die zurückgebliebene Hol ohle brennt, wenn sie hinreichend ausgeglüht worden ist, ohne Flam

Was wir hier im kleinen ausgeführt haben, findet im wesentlichen im großen bei der **Gasbeleuchtung** statt. Aber auch unsere Lampen und Kerzen sind Gasbeleuchtungsapparate. Sowie das in den Dochten aufsteigende Öl, das geschmolzene Stearin in den inneren Raum der Flamme kommt, wird dasselbe durch die hier stattfindende Glühhitze zersetzt, und gas- und dampfförmige Verbindungen von Kohlenstoff und Wasserstoff werden gebildet, welche den inneren Raum der Flamme erfüllen und an ihrer äußeren Oberfläche da, wo sie sich mit der atmosph. Luft vermischen, verbrennen. Nur bei den Lampen mit doppeltem Luftzuge findet auch ein Verbrennen innerhalb der Flamme statt.

Sowohl in einem Volum des leichten als auch in einem Volum des schweren Kohlenwasserstoffgases sind zwei Volume Wasserstoffgas, in dem letzteren ist aber doppelt soviel Kohlenstoff als in dem ersteren enthalten.

Man bereitet das Leuchtgas aus Steinkohlen, indem man dieselben in thönernen Retorten erhitzt, und erhält so zunächst ein Gemenge mehrerer Gase, Wasserstoff, schwerem und leichtem Kohlenwasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Ammoniak u. a. m., überdies mit verschiedenen dampfförmigen Verbindungen von Kohlenstoff und Wasserstoff vermischt. Man leitet diese gas- und dampfartigen Produkte zunächst in Kühlgefäße, in welchen sich die durch die Hitze verflüchtigten, bei gewöhnlicher Temperatur aber flüssigen Substanzen, insbesondere Wasser und Teer (eine Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff) absetzen, ferner in einen Behälter, in welchen fortdauernd Wasser eingespritzt wird, um hauptsächlich das Ammoniakgas fortzuschaffen, dann in Gefäße mit Kalkbrei, welcher die Kohlensäure aufnimmt, und hierauf das gereinigte Gas in einen großen Behälter, den **Gasometer**. Derselbe (Fig. 116) besteht aus einem großen, oben verschlossenen, unten offenen Cylinder von Eisenblech, welcher in einen gemauerten, mit Wasser gefüllten Behälter taucht. Seitlich angebrachte Rollen rr,

(Fig. 116.)



welche an senkrechten Stangen entlang gleiten, halten den Cylinder in aufrechter Stellung und gestatten eine Bewegung desselben nach aufwärts und abwärts. Durch den Boden des Wasserbehälters

gehen zwei außen durch Hähne verschließbare Röhren, welche über der Oberfläche des Wassers münden. Die eine dieser Röhren a dient zur Zuleitung des bereiteten Gases, die andere b zur Fortleitung desselben nach den Räumen, welche erleuchtet werden sollen. Bei dem Einströmen des Gases ist die erste Röhre geöffnet, die andere geschlossen; durch den Druck des einströmenden Gases wird der Cylinder dann gehoben. Bei der Fortleitung findet das Umgekehrte statt; das Zuleitungsrohr a ist geschlossen, das Rohr b dagegen geöffnet, und das Gas wird durch das Gewicht des Cylinders aus dem Gasometer getrieben.

(Fig. 117.)



Man unterscheidet an der Flamme unserer gewöhnlichen Lampen oder Kerzen drei Teile; erstens den innersten, dunklen Teil a (Fig. 117), welcher aus den dampf- und gasförmigen Zersetzungsprodukten des Leuchtmaterials besteht; dieser wird von dem hell leuchtenden Teile b eingehüllt, in welchem wegen unvollkommenen Zutritts des Sauerstoffs der Luft vorzüglich nur Wasserstoff verbrennt und der Kohlenstoff ausgeschieden wird; endlich bemerkt man noch den schwach leuchtenden Teil c, in welchem der Wasserstoff und der ausgeschiedene Kohlenstoff mit dem Sauerstoffe der Luft in unmittelbare Berührung treten und zu Wasser und Kohlensäure verbrennen, infolgedessen hier die größte Hitze entwickelt wird. Wenn man ein feines Drahtnetz quer durch die Flamme führt, so erglüht dasselbe am stärksten da, wo es die Hülle c durchschneidet, während es innerhalb des Raumes a dunkel bleibt. — Die beim Verbrennen des Kohlenstoffs und Wasserstoffs in der Hülle c erzeugte Wärme bewirkt das Erglühen des in dem Raume b ausgeschiedenen und sehr fein verteilten Kohlenstoffs, worauf hauptsächlich das Leuchten der Flamme beruht.

Der Rauch, welcher sich beim Verbrennen des Öles, des Holzes, der Steinkohlen u. s. w. erzeugt, entsteht dadurch, daß nicht alle Kohle vollständig verbrennt und die unverbrannte Kohle in einem fein zerteilten Zustande von der emporsteigenden heißen Luft mit fortgeführt wird. Je weniger die Luft freien Zutritt hat, um so unvollständiger wird die Kohle verbrannt, um so stärker ist der Rauch, welcher bei verstärktem Luftzuge sich vermindert. Indem die unverbrannte Kohle an den Wänden fester Körper, z. B. der Schornsteine, sich ablagert, entsteht der Ruß.

Mit dem Stickstoff bildet der Kohlenstoff eine gasförmige Verbindung, das Cyan (CN), welches, obschon ein zusammengesetzter Körper, in seinem chemischen Verhalten große Ähnlichkeit mit dem Chlor (s. §. 99) hat und sehr geneigt ist, sich mit Metallen zu verbinden. So besteht z. B. das Berlinerblau aus Cyan und Eisen. — Mit dem Wasserstoff bildet das Cyan die so äußerst giftige Blausäure.

Eisen erlangt durch einen Zusatz von Kohlenstoff bemerkenswerte Eigenschaften. Nach der größeren oder geringeren Menge des im Eisen enthaltenen Kohlenstoffes unterscheidet man Gußeisen oder Roheisen, Stahl und Stabeisen oder Schmiedeeisen. Das letzte enthält am wenigsten Kohlenstoff, etwa $\frac{1}{2}$ %, und das Gußeisen die größte Menge, 3—5 %; im Stahl ist mehr Kohlenstoff als im Stabeisen, aber weniger als im Gußeisen enthalten. — Das Gußeisen ist spröde, nicht schmiedbar und nicht schweißbar, aber leichter schmelzbar als Stahl und Stabeisen. — Das Stabeisen ist sehr schwer schmelzbar, wird in der Rotglühhitze weich und läßt sich schmieden und in der Weißglühhitze zusammenschweißen. — Der Stahl läßt sich ebenfalls schmieden und schweißen, schmilzt leichter als Stabeisen, aber schwerer als Gußeisen und erlangt, wenn er nach dem Glühen rasch abgekühlt wird, bedeutende Härte und Elasticität.

§. 96, a. Schwefel (S = 32). Der Schwefel findet sich in der Natur sowohl in gediegenem Zustande, namentlich in vulkanischen Gegenden, wie auch in Verbindung mit Metallen im Schwefelkiese, im Bleiglanze, in der Zinkblende, im Zinnober u. dgl. Er ist ein bei gewöhnlicher Temperatur fester Körper von gelber Farbe.

Wird Schwefel erhitzt, so schmilzt derselbe und bildet (ungefähr bei 111°) eine honiggelbe dünne Flüssigkeit; erhitzt man stärker, so wird er dickflüssig und (bei 200°) so zähe, daß man ihn nur schwer aus dem Gefäße ausgießen kann; fährt man aber

fort, ihn (über 250°) zu erhitzen, so wird er wieder dünnflüssig, kommt endlich (bei 440°) ins Sieden und bildet ein braunrotes Gas.

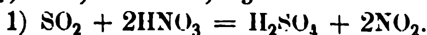
Wird Schwefel in einer Retorte, deren (nicht zu kurzer) Hals nach unten geneigt ist, zum Sieden erhitzt, so gelingt es leicht, die Schwefeldämpfe aus dem Bauche der Retorte in deren Hals zu treiben, wo sich dieselben wieder zu einer Flüssigkeit kondensieren und langsam abfließen; der Schwefel wird *destilliert*. Bringt man dagegen Schwefel in einer kurzhalsigen Retorte zum Sieden und leitet die Schwefeldämpfe in einen mit einem seitlichen Tubulus versehenen geräumigen Kolben, in welchem dieselben mit einer ausreichenden Menge kalter Luft in Berührung kommen, so geht er sofort wieder in den festen Zustand über und erscheint dann als ein hellgelbes zartes Pulver, das unter dem Namen *Schwefelblumen* bekannt ist; der Schwefel wird *sublimiert*.

Der Schwefel ist in Wasser unlöslich, löslich aber in Schwefelkohlenstoff. Läßt man Schwefel aus einer solchen Lösung krystallisieren, so zeigen die Krystalle die Form von (rhombischen) Oktaedern. Schmilzt man dagegen Schwefel in einem bedeckten Tiegel, stößt, sobald bei stattfindender Abkühlung sich auf der Oberfläche des geschmolzenen Schwefels eine Haut bildet, diese durch und schüttet den zum Teil noch flüssigen Inhalt aus, so zeigen sich die Wände mit einem Walde von Nadeln (schiefen rhombischen Prismen) bedeckt. Diese Eigenschaft des Schwefels, in zwei verschiedenen Formen zu krystallisieren, nennt man *Dimorphismus* (δίς doppelt; μόρφη, Gestalt).

§. 96, b (97). **Verbindungen des Schwefels.** Unter den Verbindungen, welche der Schwefel mit dem Sauerstoff bildet, sind die *schwefelige Säure* und die *Schwefelsäure* die bekanntesten.

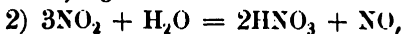
Die *schwefelige Säure* (SO_2) entsteht beim Verbrennen des Schwefels durch direkte Vereinigung desselben mit Sauerstoff. Sie bildet ein irrespirabeles Gas von stechendem Geruch, welches vom Wasser begierig verschluckt wird. Die Lösung wird zum Bleichen mancher organischen Farbstoffe benutzt.

Soll schwefelige Säure zu *Schwefelsäure* oxydiert werden, so muß dieselbe mit einem Körper in Berührung gebracht werden, welcher leicht Sauerstoff abgiebt; ein solcher Körper ist die *Salpetersäure*. Läßt man in einem geräumigen Kolben schwefelige Säure, Salpetersäure, Wasserdampf und atmosphärische Luft aufeinander einwirken, so bildet zunächst die Salpetersäure mit der schwefeligen Säure Schwefelsäure und Stickstoffdioxyd nach der Gleichung:



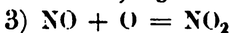
$$1)\ SO_2 + 2HNO_3 = H_2SO_4 + 2NO_2.$$

Dieses Stickstoffdioxyd zersetzt sich mit dem Wasserdampf in Salpetersäure und Stickstoffoxyd nach der Gleichung:



$$2)\ 3NO_2 + H_2O = 2HNO_3 + NO,$$

und während die entstandene Salpetersäure nach Gl. 1 weitere Mengen schwefeliger Säure oxydiert, entzieht das Stickstoffoxyd der atmosphärischen Luft Sauerstoff, um sich mit demselben nach der Gleichung:



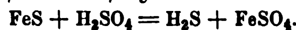
$$3)\ NO + O = NO_2$$

von neuem zu Stickstoffdioxyd zu vereinigen (s. §. 91), welches seinerseits wieder bei Gegenwart von Wasserdampf nach Gl. 2 zur Bildung von Salpetersäure Veranlassung giebt u. s. w. Auf diese Weise würden sich, theoretisch betrachtet, mit Hülfe einer geringen Menge Salpetersäure unbegrenzte Mengen schwefeliger Säure in Schwefelsäure überführen lassen, vorausgesetzt, daß für steten Zufluß von Wasserdampf und atmosphärischem Sauerstoff gesorgt würde. In der Praxis lassen sich indessen, da durch den durchziehenden Strom atmosphärischer Luft Stickstoffoxyd mitgerissen wird,

Verluste nicht vermeiden, so daß also die Salpetersäure ebenfalls von Zeit zu Zeit erneuert werden muß.

Der eben erörterte Prozeß dient auch zur Darstellung der Schwefelsäure im großen. Die schwefelige Säure wird dabei durch Verbrennen von Schwefel oder durch Rösten schwefelreicher Erze, z. B. des Schwefelkieses, gewonnen. Mit atmosphär. Luft gemengt, wird dieselbe in eine Kammer geleitet, deren Wände von Bleiplatten gebildet sind. In dieser Bleikammer finden sich zahlreiche flache Schalen mit Salpetersäure aufgestellt. Die durch Zersetzung der letzteren entstandenen Dämpfe von Stickstoffdioxyd entweichen mit schwefeliger Säure und Luft gemengt in eine zweite Kammer, wo die Gase, indem Wasserdampf zugeführt wird, in der beschriebenen Weise aufeinander einwirken. An die zweite Kammer schließt sich, damit keine schwefelige Säure unoxydiert entweiche, eine dritte, vierte an. Die am Boden sich ansammelnde Schwefelsäure wird durch Bleiröhren abgelassen. Die erhaltene **Kammersäure** ist, da stets überschüssiger Wasserdampf eingelassen wird, verdünnt. Um sie zu konzentrieren, dampft man sie anfangs in Bleipfannen, später in Platingefäßen so weit ein, bis ihr specifisches Gewicht 1,84 beträgt; sie hat dann die Zusammensetzung H_2SO_4.

Mit dem Wasserstoff verbindet sich der Schwefel ebenfalls. Die Verbindung wird hergestellt, indem man Schwefeleisen (FeS) mit verdünnter Schwefelsäure (H_2SO_4) übergießt. Indem Fe und 2H die Plätze wechseln, bildet sich **Schwefelwasserstoff** (H_2S), und schwefelsaures Eisenoxydul ($FeSO_4$) bleibt im Wasser gelöst zurück nach der Gleichung:



$$FeS + H_2SO_4 = H_2S + FeSO_4.$$

Schwefelwasserstoff ist ein übelriechendes, giftiges Gas, welches vom Wasser ziemlich begierig verschluckt wird. In der Natur wird es in den Schwefelwässern angetroffen und auch bei der Fäulnis organischer, Schwefel enthaltender Stoffe, z. B. der Eier, erzeugt. — Mit Kohlenstoff bildet der Schwefel den **Schwefelkohlenstoff**, CS_2, eine farblose übelriechende Flüssigkeit, welche das Licht stark bricht.

§. 97 (96). **Phosphor** (P = 31). Der Phosphor wird aus Knochen, welche reichlich phosphorsauren Kalk enthalten, dargestellt. Der gewöhnliche Phosphor ist im frischen Zustande wachsartig durchscheinend von gelblicher Farbe. Er hat den Namen Phosphor (Lichtträger) erhalten, weil er an der Luft liegend im Dunkeln leuchtet, (indem er sich zu phosphoriger Säure oxydiert). Seiner leichten Oxydierbarkeit wegen wird er unter Wasser aufbewahrt. Übergießt man ein Stückchen Phosphor in einem Probiercylinder mit siedendem Wasser, so schmilzt derselbe; sein Schmelzpunkt liegt bei 44°. — Phosphor gehört zu den stärksten Giften.

Wird der gewöhnliche Phosphor längere Zeit unter Wasser dem Lichte ausgesetzt oder in einer sauerstofffreien Atmosphäre bis zu 250° erhitzt, so nimmt er eine rote Farbe und von denen des gelben abweichende Eigenschaften an. Dieser allotropische Phosphor leuchtet nicht im Dunkeln, ist nicht giftig und schmilzt und entzündet sich erst bei 260°. Bei 300° verwandelt er sich in Dampf, welcher sich bei der Abkühlung wieder zu gewöhnlichem Phosphor verdichtet.

Der Phosphor ist unlöslich in Wasser, löslich in Schwefelkohlenstoff. Gießt man einige Tropfen einer Lösung von Phosphor in Schwefelkohlenstoff auf Filtrierpapier, so bleibt nach dem Verdunsten des Lösungsmittels der Phosphor in äußerst feiner Zerteilung auf dem Papier zurück und entzündet sich, da er in dieser Form dem atmosphärischen Sauerstoffe eine große Oberfläche bietet, von selbst.

Der Phosphor verbindet sich mit Sauerstoff zu Säureanhydriden in 3 Verhältnissen: zu **unterphosphoriger** (P_2O), zu **phosphoriger** (P_2O_3) und zu **Phosphorsäure** (P_2O_5). — Auch mit dem Wasserstoff geht der Phosphor verschiedene Verbindungen ein, von denen das beim Kochen von Phosphor mit Kali oder Natron entstehende **Phosphorwasserstoffgas** (H_3P) sich in der Luft von selbst entzündet. Die Entzündung rührt von einem bei dieser Darstellung gleichzeitig in geringer Menge auftretenden flüssigen Phosphorwasserstoff (H_2P) her, welcher an der Luft selbstentzündlich ist und das im reinen Zustande nicht selbstentzündliche Gas (H_3P) zur Verbrennung bringt.

Der Phosphor wurde zuerst (1669) von Bra

§. 98. Kiesel (Si = 28). Der **Kiesel** (Silicium) findet sich in der Natur nur in der Verbindung mit Sauerstoff als **Kieselsäure** (SiO_2). Diese wird am reinsten im Bergkrystall und im Quarz angetroffen. Bei gewöhnlicher Temperatur ist dieselbe eine der schwächsten Säuren; in der Glühhitze aber übertrifft sie alle anderen Säuren in der Verwandtschaft zu den Basen.

Die Kieselsäure, wie sie im Quarz vorkommt, ist im Wasser ganz unlöslich. Wenn aber die Kieselsäure aus einer Auflösung von Wasserglas (s. unten) durch Zusatz von Salzsäure ausgeschieden wird, so wird sie in einer Modifikation erhalten, welche ein wenig in Wasser löslich ist, woraus sich ihr Vorkommen in Quellen und Pflanzen, z. B. Schachtelhalmen und Gräsern, erklärt.

Zu den künstlichen Verbindungen der Kieselsäure mit den Basen gehört das **Glas**. Das gewöhnliche **Kron-** oder **böhmische Glas** wird durch Zusammenschmelzen von Sand (Kieselsäure), Pottasche (kohlens. Kali) oder Soda (kohlens. Natron) und Kalk (kohlens. Kalkerde) bereitet. — Das **Krystall-** oder **Flintglas** enthält keine Kalkerde und besteht aus Kieselsäure, Kali und Bleioxyd; dasselbe zeichnet sich vor dem Kronglase durch starke Farbenzerstreuung des Lichtes aus. (S. §. 206.)

Das **Wasserglas**, welches im Wasser löslich ist, ist eine Verbindung von vielem Kali oder Natron mit wenig Kieselsäure und wird als ein Überzug für Holz und andere Gegenstände benutzt, um dieselben gegen den Einfluß der Atmosphäre u. dgl. zu schützen.

§. 99. Chlor (Cl = 35,4). Erwärmt man Salzsäure (HCl) mit gepulvertem Braunstein (MnO_2), so entwickelt sich ein Gas von grünlich gelber Farbe und eigentümlichem Geruche, welches die Atmungsorgane heftig angreift. Dieses Gas ist **Chlor**. Die bei der Einwirkung von Braunstein auf Salzsäure stattfindende Zersetzung wird durch die Gleichung dargestellt:



$$4HCl + MnO_2 = MnCl_2 + 2H_2O + 2Cl.$$

Da das Chlor vom Wasser stark verschluckt wird und sich mit Quecksilber direkt verbindet, so kann es weder über Wasser noch über Quecksilber aufgefangen werden. Sollen Versuche mit Chlor angestellt werden, so füllt man hohe Cylinder in der Weise damit an, daß man das Gas durch Glasröhren bis auf den Boden der Gefäße leitet. Da das Chlor ungefähr $2^1/_2$mal so schwer ist als atmosphärische Luft, so verdrängt es allmählich die in dem Gefäße enthaltene Luft.

Wird in einen solchen mit Chlor angefüllten Cylinder unechtes Blattgold (eine dünngeschlagene Komposition aus Kupfer und Zink) hineingeworfen, so verbrennt es mit lebhafter Flamme; ebenso verbindet sich gepulvertes Antimon, welches in einen solchen Cylinder gestreut wird, unter Feuererscheinung mit dem Chlor; Natrium, welches in einem eisernen Löffelchen über der Flamme einer Lampe bis zur Entzündung erhitzt worden ist, fährt, schnell in einen mit Chlor gefüllten Ballon getaucht, in dem Chlor fort, mit lebhaftem Glanze zu brennen; auch Phosphor verbindet sich mit Chlor unter Feuererscheinung. (S. auch §. 84.)

Ein aus gleichen Raumteilen Chlor und Wasserstoff bestehendes Gemenge entzündet sich im direkten Sonnenlichte unter heftiger Explosion. Auf dieser starken Verwandtschaft zum Wasserstoff beruht auch die zerstörende Einwirkung, welche Chlor auf organische Farbstoffe ausübt. Bringt man in einen mit Chlor gefüllten Cylinder blühende Blumen, angefeuchtetes Lackmuspapier, angefeuchtetes buntes Zeug, so sind nach kurzer Zeit die Farben verschwunden. Hierauf beruht die Verwendung des Chlors beim Bleichen. Ebenso zerstört Chlor die Ansteckungsstoffe gewisser Krankheiten, die miasmatischen Stoffe, und wird daher als Desinfektionsmittel verwandt.

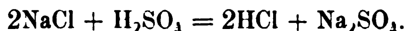
Große Ähnlichkeit mit dem Chlor haben in ihrem chemischen Verhalten das **Brom**, **Jod** und **Fluor**. Die beiden ersten finden sich in geringen Mengen fast überall da, wo Kochsalz vorkommt, im Steinsalz, in Solquellen, im Meere u. s. w., das Fluor vorzüglich im Flußspat, in welchem es mit Calcium verbunden ist.

Das **Brom** ist bei der gewöhnlichen Temperatur eine dunkele, in dünnen Schichten hyacinthrote Flüssigkeit, welche sich leicht verflüchtigt und ein rotgelbes Gas liefert.

Das **Jod** erscheint bei gewöhnlicher Temperatur in metallisch glänzenden Schuppen von schwarzgrauer Farbe; es schmilzt und verflüchtigt sich leicht zu einem violett gefärbten Gase. Der Stärke giebt es eine blaue Farbe. Diese Eigenschaft kann man zum Nachweise von Ozon (§. 82) benutzen. Man tränkt zu dem Zweck Papierstreifen mit Stärkekleister, welchem Jodkalium zugesetzt ist. Wird ein solcher Streifen in ozonhaltige Luft gebracht, so färbt sich derselbe blau, indem das Ozon das Kalium oxydiert und das dadurch freigewordene Jod der Stärke eine blaue Farbe verleiht.

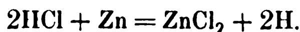
Das **Fluor** ist ein Gas von schwach grünlichgelber Farbe, ähnlich dem Chlor; es zeichnet sich durch eine sehr große Verwandtschaft zu anderen Stoffen aus und läßt sich daher nur äußerst schwer in freiem Zustande darstellen, indem es alle Gefäße stark angreift. Erst in neuester Zeit ist es gelungen, dasselbe mit Sicherheit für sich zu gewinnen.

§. 100. Salzsäure. Wie wir bereits im vorigen §. gesehen haben, verbinden sich Chlor und Wasserstoff direkt miteinander und zwar vereinigen sich 1 Vol. Chlor und 1 Vol. Wasserstoff zu 2 Vol. Chlorwasserstoff, einer gasförmigen Verbindung, welche angefeuchtetes blaues Lackmuspapier stark rötet. Im großen wird dieses Gas durch Einwirkung von Schwefelsäure auf Kochsalz gewonnen. Unser Kochsalz besteht nämlich aus Chlor und Natrium. Wird dasselbe mit Schwefelsäure übergossen, so tauschen das im Kochsalz enthaltene Metall und der in der Schwefelsäure vorhandene Wasserstoff ihre Plätze; es bildet sich Chlorwasserstoffgas, welches entweicht, und schwefelsaures Natron, welches zurückbleibt. Die Zersetzung wird dargestellt durch die Gleichung:



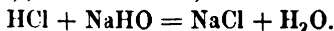
$$2NaCl + H_2SO_4 = 2HCl + Na_2SO_4.$$

Das entstandene Gas, welches seiner Darstellung wegen auch den Namen **Salzsäuregas** führt, wird vom Wasser äußerst begierig verschluckt. (1 Vol. Wasser absorbiert bei 15° mehr als 400 Vol. Chlorwasserstoffgas.) Die dadurch erhaltene Auflösung wird **Salzsäure** genannt. Sie bildet eine sehr saure, farblose Flüssigkeit. Mit ihrer Hilfe läßt sich ebenso wie durch direkte Einwirkung des Chlors eine Reihe von Verbindungen herstellen, welche sämtlich eine dem Kochsalz ähnliche Zusammensetzung haben und daher ebenfalls Salze genannt werden. Übergießt man z. B. Zinkspäne mit Salzsäure, so löst sich unter lebhafter Gasentwicklung das Zink auf. Das entwickelte Gas läßt sich entzünden und verbrennt mit schwach leuchtender Flamme; es ist Wasserstoff; in dem Gefäße bleibt Chlorzink in Lösung zurück. Auch hier tritt also das Metall an Stelle des Wasserstoffs nach der Gleichung:



$$2HCl + Zn = ZnCl_2 + 2H.$$

Ganz ähnlich gestaltet sich der Zersetzungsprozeß, wenn Salzsäure auf ein Oxyd einwirkt; nur wird hier der durch das Metall ersetzte Wasserstoff nicht frei, sondern verbindet sich mit dem im Oxyde enthaltenen Sauerstoff zu Wasser. So wird z. B. aus Salzsäure und Natronhydrat wieder Chlornatrium (Kochsalz) und Wasser:



$$HCl + NaHO = NaCl + H_2O.$$

Bildet ein Metall mit Sauerstoff Basen von verschiedenem Sauerstoffgehalte, Oxydule und Oxyde, so entstehen durch Einwirkung der Salzsäure Chlormetalle von verschiedenem Chlorgehalte. Man nennt dann diejenige Verbindung, welche die geringere Menge Chlor enthält, Chlorür, die mit der größeren Menge Chlor Chlorid. So entspricht dem Eisenoxydul FeO das Eisenchlorür $FeCl_2$, dem Eisenoxyd Fe_2O_3 das Eisenchlorid Fe_2Cl_6.

Ein ähnliches Verhalten wie das Chlor zeigen auch Brom, Jod und Fluor. Auch diese gehen mit Metallen Verbindungen ein, welche in ihrer Zusammensetzung dem Kochsalz entsprechen. Chlor, Brom, Jod und Fluor werden daher auch Salzbildner, Halogene, ihre Verbindungen mit Metallen Haloidsalze genannt. Wie Chlor vereinigen sich auch die übrigen Halogene mit Wasserstoff. Diese Verbindungen tragen sämtlich den Charakter der Säuren und heißen daher Haloidsäuren.

Unter den Haloidsäuren möge noch die Fluorwasserstoffsäure oder Flußsäure (HFl) erwähnt werden. Dieselbe entsteht bei Einwirkung von Schwefelsäure auf Fluorcalcium (Flußspat), greift das Glas an und wird daher zum Ätzen desselben verwandt.

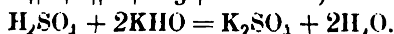
Von den Haloidsalzen heben wir noch hervor: Salmiak oder Chlorammonium (NH_4Cl). Dasselbe entsteht, wenn Chlorwasserstoff (HCl) mit Ammoniak (NH_3) zusammentrifft. — Ferner das Chlor-, Brom- und Jodsilber. Sämtliche Verbindungen zersetzen sich unter dem Einflusse des Lichtes und finden daher Anwendung in der Photographie (S. 220). — Endlich das Chlorcalcium ($CaCl_2$). Dasselbe wird dargestellt, indem man kohlensauren Kalk in Salzsäure auflöst und die Lösung zur Trockne eindampft. Das getrocknete Salz zieht begierig Wasser aus der Luft an und wird daher zum Trocknen von Gasen benutzt.

§. 101. Säure, Base, Salz.

In §. 85 haben wir gefunden, daß die Lösung einer Säure einen sauren Geschmack zeigt und blaue Lackmustinktur rot färbt, während die Lösung einer Base laugenhaft schmeckt und rote Lackmustinktur blau färbt. Zu einer schärferen Begriffsbestimmung dieser wichtigen Verbindungen gelangen wir durch Untersuchung ihres chemischen Verhaltens zu einander.

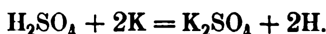
Man setze zu verdünnter Schwefelsäure, in welche ein Streifen Lackmuspapier eingetaucht ist, so lange eine Lösung von Ätzkali, bis die rote Farbe des Lackmuspapiers eben in die blaue übergegangen ist. Wird dann tropfenweise wieder recht verdünnte Schwefelsäure zugesetzt, so kann man es bei einiger Vorsicht dahin bringen, daß die erhaltene Lösung weder rotes Lackmuspapier bläut, noch blaues rötet. Wird die Lösung eingedampft, so scheiden sich kleine farblose Krystalle von salzig bitterem Geschmack aus. Einen solchen Körper, in welchem sich die Eigenschaften der Säure und der Base gegenseitig aufgehoben haben, nennt man ein Salz. Als wichtiges Kennzeichen einer Säure und Base zeigt sich hier die Eigenschaft derselben, durch gegenseitige Einwirkung Salze zu bilden.

Bei diesem Versuche wirken zwei Moleküle Kali ($2KHO$) in der Weise auf ein Molekül Schwefelsäure (H_2SO_4) ein, daß die zwei Atome Kalium des Kalis in das Molekül Schwefelsäure an die Stelle der zwei Atome Wasserstoff eintreten und mit dem Reste des Schwefelsäuremoleküls (SO_4) eine neue Verbindung schwefelsaures Kali (K_2SO_4) bilden, während die ausgetriebenen zwei Atome Wasserstoff sich mit dem übrig gebliebenen Teile des Kalis (H_2O_2) zu zwei Molekülen Wasser ($2H_2O$) vereinigen. Es hat hier also eine Wechselzersetzung, eine gegenseitige Substitution des Kaliums und des Wasserstoffs stattgefunden nach der Gleichung:



$$H_2SO_4 + 2KHO = K_2SO_4 + 2H_2O.$$

Das entstandene Salz, schwefelsaures Kali, kann man auch dadurch erhalten, daß man nur das Metall der Base, Kalium, auf Schwefelsäure einwirken läßt. Es werden in diesem Falle die zwei Atome Wasserstoff, für welche zwei Atome Kalium in die Schwefelsäure eintreten, frei nach der Gleichung:



$$H_2SO_4 + 2K = K_2SO_4 + 2H.$$

In derselben Weise geht die Einwirkung von Zink (Eisen) auf verdünnte Schwefelsäure vor sich (s. §. 86). Diesen Prozessen ganz entsprechend sind ferner die im vorig. §. besprochenen, bei welchen anstatt der Schwefelsäure Salzsäure angewendet wurde.

Auf Grund solcher Umsetzungen lassen sich folgende Erklärungen geben:

1) Eine Säure ist eine Wasserstoffverbindung, in welcher der Wasserstoff durch ein Metall ersetzt werden kann.

2) Eine Base ist eine Verbindung eines Metalles mit Sauerstoff und Wasserstoff, deren Metall an die Stelle des Wasserstoffs einer Säure treten kann, während der mit dem Metall verbunden gewesene Sauerstoff und Wasserstoff mit dem Wasserstoff der Säure Wasser bildet.

3) Ein Salz ist eine Verbindung, welche aus einer Säure dadurch entsteht, daß ein Metall an die Stelle des Wasserstoffs der Säure tritt.

Die Säuren bilden nach ihrer chemischen Zusammensetzung zwei wesentlich verschiedene Gruppen, nämlich die Haloidsäuren und Sauerstoffsäuren. Die ersteren (HCl, HBr, HJ, HFl) bestehen aus Wasserstoff und einem der Halogene, Chlor, Brom, Jod, Fluor. Ihre Salze, Haloidsalze, sind Verbindungen eines Metalles mit einem Halogen und können auch durch direkte Vereinigung beider erhalten werden. So bildet sich z. B. durch Verbrennung von Natrium in Chlor Kochsalz ($NaCl$). Die Sauerstoffsäuren enthalten außer dem Wasserstoff noch Sauerstoff und ein Metalloid (seltener ein Metall), z. B. Salpetersäure (HNO_3), Schwefelsäure (H_2SO_4), Phosphorsäure* (H_3PO_4). Ihre Salze führen den Namen Sauerstoffsalze.

In einer Base ist an ein Metall eine der Wertigkeit des Metalles entsprechende Menge Wasserstoff und Sauerstoff gebunden. Man bezeichnet sie deshalb auch als Hydroxyde, z. B. Kali oder Kaliumhydroxyd (KHO), gelöschter Kalk oder Calciumhydroxyd (CaH_2O_2), Platinhydroxyd (PtH_4O_4).

Tritt aus einer Sauerstoffsäure oder Base der Wasserstoff unter Bildung von Wasser mit der dazu nötigen Menge Sauerstoff aus, so entsteht das Anhydrid der Verbindung (ἀνά, ohne; ὕδωρ, Wasser). Einem Moleküle Schwefelsäure kann z. B. ein Molekül Wasser entzogen werden; es bleibt dann Schwefelsäureanhydrid (SO_3) übrig nach der Gleichung: $H_2SO_4 = H_2O + SO_3$. Sollen aus Kaliumhydroxyd (KHO) die Elemente des Wassers ausscheiden, so müssen zwei Moleküle vorhanden sein; es bildet sich dann Kaliumoxyd (K_2O) nach der Gleichung: $2KHO = H_2O + K_2O$. Auf ähnliche Art ergiebt sich das Symbol für das Anhydrid der Salpetersäure $= N_2O_5$, der Phosphorsäure $= P_2O_5$. — Von manchen Säuren kommt nur das Anhydrid vor, z. B. von der Kohlensäure CO_2, der schwefeligen Säure SO_2. Ein solches Säureanhydrid vermag bei Gegenwart von Wasser mit einer Base ebenfalls ein Salz zu bilden. In der Lösung kann man sich das Anhydrid der Säure mit der ent-

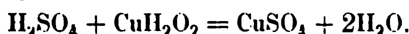
sprechenden Menge Wasser vereinigt denken und würde dann für Kohlensäure die (hypothetische) Verbindung $CO_2 + H_2O = H_2CO_3$, für schwefelige Säure $SO_2 + H_2O = H_2SO_3$ erhalten.

§. 102 (101). **Fortsetzung.** Wie wir wissen, treibt Zink aus verdünnter Schwefelsäure bei gewöhnlicher Temperatur den Wasserstoff aus. Unter denselben Umständen äußert Kupfer keine Einwirkung auf die Schwefelsäure. Wird dieses Metall dagegen mit konzentrierter Schwefelsäure erhitzt, so bildet sich schwefelsaures Kupferoxyd unter Entwickelung von schwefeliger Säure. Die dabei stattfindenden Umsetzungen lassen sich folgendermaßen erklären. Zur Bildung von schwefelsaurem Kupferoxyd ($CuSO_4$) tritt ein Atom Kupfer in ein Molekül Schwefelsäure; die dabei frei werdenden zwei Atome Wasserstoff entreißen aber einem zweiten Moleküle Schwefelsäure ein Atom Sauerstoff, um sich mit demselben zu einem Molekül Wasser zu vereinigen, während der Rest des zweiten Moleküls Schwefelsäure (H_2SO_4) sich in Wasser und das Anhydrid der schwefeligen Säure spaltet. Der Prozeß kann also durch die Gleichung:



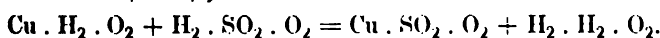
$$2H_2SO_4 + Cu = CuSO_4 + 2H_2O + SO_2$$

dargestellt werden. — Löst man andererseits Kupferhydroxyd (CuH_2O_2) in Schwefelsäure auf, so wird nach den bisherigen Erörterungen ein Atom Kupfer sich an die Stelle von den zwei Atomen Wasserstoff eines Moleküls Schwefelsäure setzen und der frei gewordene Wasserstoff mit dem Reste des Moleküls Kupferhydroxyd Wasser bilden nach der Gleichung:



$$H_2SO_4 + CuH_2O_2 = CuSO_4 + 2H_2O.$$

Man kann sich den Vorgang aber auch so denken, daß die Atomgruppe SO_2 aus einem Molekül Schwefelsäure die zwei Atome Wasserstoff des Moleküls Kupferhydroxyd verdrängt, und diese mit dem Reste des Moleküls Schwefelsäure sich zu Wasser vereinigen. Diese Anschauung würde man in der Gleichung zum Ausdruck bringen, wenn man dieselbe schriebe:

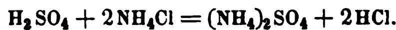


$$Cu \,.\, H_2 \,.\, O_2 + H_2 \,.\, SO_2 \,.\, O_2 = Cu \,.\, SO_2 \,.\, O_2 + H_2 \,.\, H_2 \,.\, O_2.$$

Die Gruppe SO_2, welche in dem ersteren der angeführten Versuche bei der Reduktion der Schwefelsäure nicht zersetzt wird, in dem zweiten unzerlegt aus der Schwefelsäure in das Kupferhydroxyd übergeht, nennt man das Radikal der Schwefelsäure. Allgemein versteht man unter einem (zusammengesetzten) Radikal einen Atomkomplex, welcher unzersetzt aus einer Verbindung aus- und in eine andere Verbindung eintreten kann, sich also bei Umsetzungen wie ein Element verhält. Demgemäß legt man auch dem Radikal nach der Anzahl von Wasserstoffatomen, welche dasselbe ersetzen kann, eine bestimmte Wertigkeit bei. So ist das Radikal der Schwefelsäure zweiwertig (SO_2^{II}). Stellt man an die Formel einer chemischen Verbindung die Forderung, daß sie nicht nur die Gewichtsverhältnisse wiedergiebt, nach welchen die Elemente zusammengetreten sind, sondern daß sie auch zur Veranschaulichung der verschiedenen Spaltungen dient, welche beim Zerlegen der Verbindung eintreten können, so muß man die Formel der Schwefelsäure $H_2 \,.\, SO_2 \,.\, O_2$ schreiben. Diese Formel nennt man die rationelle Formel der Schwefelsäure zum Unterschiede von der empirischen H_2SO_4, welche

lediglich die Gewichtsverhältnisse der in der Schwefelsäure vorhandenen Elemente berücksichtigt. Aus demselben Grunde schreibt man die (rationelle) Formel der Salpetersäure $H \,.\, NO_2 \,.\, O$, der Phosphorsäure $H_3 \,.\, PO \,.\, O_3$.

Die im vorig. §. gegebene Erklärung einer Base scheint auf das Ammoniak (NH_3, §. 92) nicht zu passen. Dasselbe bildet mit Salzsäure (HCl) durch direkte Vereinigung ein Salz, Salmiak (NH_4Cl). Vergleichen wir dieses betreffs seiner atomistischen Zusammensetzung mit dem Kochsalz (NaCl), so zeigt sich, daß in dem Salmiak die Atomgruppe NH_4 einem Atome des Metalles Natrium in dem Kochsalz entspricht. Bei Behandlung von Salmiak mit Schwefelsäure entsteht schwefelsaures Ammoniak und Salzsäure nach der Gleichung:



$$H_2SO_4 + 2NH_4Cl = (NH_4)_2SO_4 + 2HCl.$$

Es verhält sich also die Gruppe NH_4 wie ein Atom eines einwertigen Metalles; es ist ein einwertiges Radikal, welchem man den Namen **Ammonium** (Am^{I}) beigelegt hat. Dasselbe bildet mit Quecksilber Ammoniumamalgam und ist neuerdings als eine dunkelblaue, metallisch glänzende Flüssigkeit dargestellt worden, welche sich schon bei 15° in Ammoniak und Wasserstoff spaltet. Die basische Natur einer Ammoniaklösung tritt auch in der Zusammensetzung hervor, wenn man sich in der Lösung die (hypothetische) Verbindung **Ammoniumhydroxyd** ($NH_4.HO$) gebildet denkt nach der Gleichung:



$$NH_3 + H_2O = NH_4.HO = AmHO.$$

Nach der Anzahl der in einer Säure ersetzbaren Wasserstoffatome unterscheidet man **ein-**, **zwei-** und **mehrbasische** Säuren. So ist die Schwefelsäure (H_2SO_4) zweibasisch, da in derselben zwei Atome Wasserstoff vertreten werden können; hingegen die Salpetersäure (HNO_3) einbasisch, die Phosphorsäure (H_3PO_4) dreibasisch. — Ist in einer Säure sämtlicher (vertretbarer) Wasserstoff durch ein Metall ersetzt, so nennt man das gebildete Salz ein **normales**. So entsteht z. B. aus der zweibasischen Schwefelsäure (H_2SO_4) durch Eintritt von zwei Atomen Kalium normales schwefelsaures Kali (K_2SO_4). Wird dagegen in der Säure nur ein Teil des Wasserstoffs ersetzt, überwiegt also die Säure noch in dem Salze, so heißt dasselbe ein **saures**. Geht z. B. in die Schwefelsäure nur ein Atom Kalium über, so bildet sich saures schwefelsaures Kali ($KHSO_4$), eine Verbindung, in welche noch ein zweites Atom Kalium eintreten kann. Durch Einleiten von Kohlensäure (CO_2) in eine Lösung von normalem kohlensauren Natron (Na_2CO_3) erhält man saures (doppelt-) kohlensaures Natron ($NaHCO_3$). — Wird andererseits in einer Base der Wasserstoff nur teilweise von einem Säureradikal vertreten, so behält der basische Bestandteil noch das Übergewicht, und es bildet sich ein **basisches** Salz. Wenn z. B. in der Base Bleihydroxyd (PbH_2O_2) ein Atom Wasserstoff durch das einwertige Radikal der Salpetersäure ($H \,.\, NO_2 \,.\, O$) ersetzt wird, so erhält man basisches salpetersaures Bleioxyd ($Pb \,.\, H \,.\, NO_2 \,.\, O_2$), während durch Eintritt der doppelten Menge des Radikals normales salpetersaures Bleioxyd ($Pb \,.\, (NO_2)_2 \,.\, O_2$) entstehen würde.

Zuweilen vereinigen sich zwei Salze zu einer neuen Verbindung, einem **Doppelsalze**. So bilden z. B. schwefelsaures Kali (K_2SO_4) und schwefelsaure Thonerde ($Al_2(SO_4)_3$), indem sie noch Krystallwasser binden, den gewöhnlichen (Kali-Thonerde-) Alaun ($K_2SO_4 + Al_2(SO_4)_3 + 24 \cdot H_2O$).

§. 103 (102). **Gesetz der Gasvolume.** Alle Gase zeigen ein gleichartiges Verhalten für Änderungen des Druckes und der Temperatur. Das Volumen eines Gases ist bei gleichbleibender Temperatur umgekehrt proportional dem Druck, unter welchem es sich befindet (vergl. §. 66); bei unverändertem Druck aber dehnt sich das Gas für denselben Temperaturzuwachs um dieselbe Größe aus, und zwar ist diese Ausdehnung für alle Gase im Gegensatze zu den festen und flüssigen Körpern die nämliche (vergl. §. 231). — Diese Thatsachen haben zu folgender Hypothese geführt:

1) **Bei allen Gasen sind in gleichen Volumen** (bei derselben Temperatur und demselben Drucke) **gleichviel Moleküle enthalten** oder die **Moleküle der gasförmigen Körper sind** (unter den angegebenen Bedingungen) **gleich groß.**

Diese Annahme liefert uns, da bei einer chemischen Vereinigung zweier Körper **eine bestimmte, einfache Anzahl von Molekülen** zu einem oder mehreren neuen **Molekülen zusammentreten, die naturgemäße** Erklärung für die folgende Erscheinung, **welcher wir im vorhergehenden** vielfach begegnet sind:

2) **Wenn zwei gasförmige Körper eine chemische Verbindung eingehen, so stehen die Volume der sich vereinigenden Gase allemal in einem einfachen Verhältnisse zu einander.**

3) **Wenn die Verbindung ebenfalls gasförmig ist, so ist das Volumen derselben gleich der Summe der Volume der Gase, welche sich miteinander verbunden haben, oder infolge einer Verdichtung um ein oder mehrere Volume kleiner.**

Nach §. 100 **verbinden sich** 1 Vol. Wasserstoff und 1 Vol. Chlor zu 2 Vol. **Chlorwasserstoff. Es vereinigt** sich also, wenn die Moleküle gasförmiger Körper **gleich groß sind**, 1 Molekül (1 Vol.) Wasserstoff mit 1 Molekül (1 Vol.) Chlor zu 2 **Molekülen** (2 Vol.) Chlorwasserstoff. Nun ist 1 Molekül Chlorwasserstoff aus 1 **Atom Wasserstoff und** 1 Atom Chlor zusammengesetzt; zur Bildung von 2 Molekülen **Chlorwasserstoff sind daher** 2 Atome Wasserstoff und 2 Atome Chlor notwendig, und **da diese von** 1 **Molekül Wasserstoff** und 1 Molekül Chlor geliefert werden, so muß **das eine Molekül Wasserstoff** und ebenso das eine Molekül Chlor aus 2 Atomen **bestehen. — Aus der Entzündung** des Knallgases, welches aus 2 Vol. Wasserstoff **und 1 Vol.** Sauerstoff besteht, gehen nach §. 87 2 Vol. Wassergas hervor. Die **2 Moleküle Wassergas**, welche sich hiernach aus 2 Molekülen Wasserstoff und 1 Molekül **Sauerstoff bilden, enthalten** 2 Atome Sauerstoff, welche aus 1 Molekül Sauerstoff **herrühren**, also ist 1 Molekül Sauerstoff ebenfalls aus 2 Atomen zusammengesetzt. — **Die beiden angeführten Beispiele** und viele andere sind der Grund, warum die **Chemiker annehmen**, daß die Moleküle der einfachen Stoffe (mit Ausnahme der in **§. 80, Anm. angeführten**) aus 2 Atomen bestehen. Es ist also z. B. das Symbol **für ein Molekül Wasserstoff** = H_2, für ein Molekül Sauerstoff = O_2. — Auch machen **wir noch darauf aufmerksam**, daß unter diesen Verhältnissen ein Atom eines gasförmigen **Elementes halb** so groß ist als das Molekül von einem gasförmigen Körper, **mag derselbe einfach** oder zusammengesetzt sein.

Mit Notwendigkeit ergiebt sich ferner aus der obigen Hypothese eine wichtige **Beziehung zwischen dem** Volumgewichte (§. 21, b) und dem Molekulargewichte (§. 80) **der gasförmigen** Körper, nämlich:

4) **Das Verhältnis der Gewichte gleicher Volume bei allen Gasen ist gleich dem Verhältnisse der Molekulargewichte.** — Da nun das Gewicht **von einem jeden** Molekül (2 Vol.) auf das Gewicht eines Atoms (1 Vol.) Wasserstoff **als Einheit** bezogen wird, so ist das Molekulargewicht eines Gases doppelt so groß **als** sein Volumgewicht (bezogen auf Wasserstoff), dagegen das Atomgewicht eines **gasförmigen** Elementes gleich seinem Volumgewichte. So ist z. B. 1 Vol. Sauerstoff **16mal so schwer als** ein gleiches Vol. Wasserstoff, also das Atomgewicht des Sauerstoffs = 16, sein Molekulargewicht = 32; 1 Vol. Kohlensäure ist 22mal so schwer **als ein gleiches** Vol. Wasserstoff, folglich das Molekulargewicht der Kohlensäure

$CO_2 = 44$. Die Volumgewichte (Dampfdichten) bilden somit eines der wichtigsten Mittel zur Bestimmung der Atom- und Molekulargewichte.

Nach dem Vorhergehenden liefert die Formel für das Molekül einer Verbindung, welche aus gasförmigen Elementen besteht, wichtige Aufschlüsse über die Volumzusammensetzung der Verbindung. Sie lehrt, wieviel Volume (Atome) der unverbundenen Elemente sich mit einander vereinigt haben, und zwar, wenn die Verbindung selbst gasförmig ist, zu 2 Volumen (1 Molekül) der Verbindung. Aus der Formel für Salzsäure HCl ergiebt sich z. B., daß 1 Vol. Wasserstoff und 1 Vol. Chlor sich zu 2 Vol. Chlorwasserstoff verbinden, aus der Formel für Ammoniak H_3N, daß 3 Vol. Wasserstoff und 1 Vol. Stickstoff sich zu 2 Vol. Ammoniakgas verdichten. Die Formeln für Kohlenoxyd CO und Kohlensäure CO_2 zeigen, daß zur Erzeugung von 2 Vol. Kohlenoxyd 1 Vol. Sauerstoff, dagegen zur Bildung von 2 Vol. Kohlensäure 2 Vol. Sauerstoff nötig sind; ferner, daß 2 Vol. Kohlenoxyd sich mit 1 Vol. Sauerstoff zu 2 Vol. Kohlensäure verbinden.

Nach der Atomtheorie kann ein Atom für sich im freien Zustande nicht vorkommen, sondern nur in einem Molekül, gebunden an andere Atome. Sollen die chemischen Gleichungen, welche qualitativ und quantitativ die durch sie dargestellten Prozesse angeben, auch dieser Hypothese gerecht werden, so müssen sie Molekulargleichungen sein, in denen keine freien Atome, sondern nur Moleküle vorhanden sind. Einzelne Gleichungen, in denen freie Elemente auftreten, sind daher, wenn die Anzahl der Atome eine ungerade ist, zu verdoppeln, da die Moleküle der Elemente (im allgemeinen) aus 2 Atomen bestehen.

Nach der Gleichung $KClO_3 = KCl + 3O$,
durch welche die Darstellung von Sauerstoff aus chlorsaurem Kali (§. 82) ausgedrückt ist, würden sich drei Atome Sauerstoff aus einem Molekül chlorsaurem Kali entwickeln; will man die Molekularumsetzung veranschaulichen, so hat man 2 Moleküle vom chlorsauren Kali zu nehmen und erhält dann die Molekulargleichung: $2KClO_3 = 2KCl + 3O_2$.

Die obige Hypothese über die Gasvolume ist zuerst (1811) von Avogadro aufgestellt worden.

Sechster Abschnitt.

Vom Magnetismus.

---

§. 104. **Grundeigenschaften eines Magnets.** Gewisse Eisenerze haben die Eigenschaft, Eisen anzuziehen und festzuhalten, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man ein Stück eines solchen Eisenerzes in Eisenfeile legt. Körper, welche die angegebene Erscheinung zeigen, nennt man Magnete, die uns unbekannte Ursache dieser Erscheinung aber Magnetismus. — Die Eigenschaft des Magnetismus läßt sich auch künstlich im Stahl hervorrufen (s. §. 107). Man unterscheidet hiernach natürliche Magnete oder Magneteisensteine und künstliche oder Stahlmagnete. Letztere werden bei magnetischen Untersuchungen gewöhnlich angewendet.

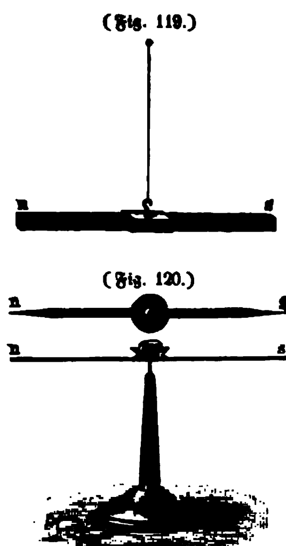
(Fig. 118.)



Legt man einen Magnetstab in Eisenfeile, so zeigt sich beim Wiederherausnehmen, daß die Eisenteilchen hauptsächlich an den Enden des Stabes haften bleiben (Fig. 118), weniger gegen die Mitte hin, welche selbst gar keine Eisenfeile festhält. Überhaupt finden sich an einem Magnete stets zwei Stellen, an denen sich die anziehende Kraft am stärksten äußert; man nennt diese Stellen die Pole, und die Linie, welche dieselben verbindet, die Achse des Magnetes. Zwischen den beiden Polen giebt es eine Stelle, an welcher der Magnet gar keine Anziehung äußert; diese Stelle wird Indifferenzpunkt genannt. An einem Magnetstabe liegt die

indifferente Stelle in der Mitte; von da nimmt die magnetische Kraft gegen beide Enden hin, woselbst die Pole liegen, rasch zu.

Der Magnet äußert seine anziehende Kraft auch durch andere Körper hindurch, wie z. B. durch Papier, Holz, Glas u. a. m.



(Fig. 119.) (Fig. 120.)

Wenn man einen Magnetstab so aufhängt, daß er sich in einer wagerechten Ebene frei drehen kann, indem man ihn etwa durch eine an einem feinen Faden aufgehängte Hülse steckt (Fig. 119), so wendet sich stets der eine Pol (angenähert) gegen Norden, der andere gegen Süden; man nennt daher den ersteren den Nordpol, den letzteren den Südpol. — Ein Magnetstab, welcher sich frei um eine Achse drehen kann, führt den Namen Magnetnadel. Gewöhnlich besteht dieselbe aus einem kleinen nach den Enden spitz zulaufenden Magnetstäbchen (Fig. 120), welches in der Mitte durchbohrt und mit einem kleinen Achathütchen versehen ist, vermittelst dessen die Nadel auf einer stählernen Spitze ruht.

Die Magnetnadel findet wichtige Anwendungen als Kompaß zur Ermittelung der Himmelsgegenden und als Bussole zur Abmessung von Winkeln. Beide Apparate bestehen im wesentlichen aus einer Magnetnadel, deren Richtung an einer unter der Nadel angebrachten Einteilung abgelesen werden kann. Die letztere ist beim Kompaß eine Windrose, welche die Himmelsgegenden angiebt, bei der Bussole ein in 360° eingeteilter Kreis.

Die Magneteisensteine sind Verbindungen des Eisens mit Sauerstoff und zwar bestehen sie aus Eisenoxyd und Eisenoxydul ($Fe_2O_3 + FeO = Fe_3O_4$, s. §. 85). Sie finden sich z. B. besonders in Norwegen, im Ural, im Harz.

Der Magnet war schon den alten Griechen und Römern bekannt. Man leitet seinen Namen von der Stadt Magnesia ab, bei welcher zuerst natürliche Magnete gefunden sein sollen. — Die Chinesen bedienen sich der Magnetnadel schon seit den ältesten Zeiten; im 12. Jahrhundert soll dieselbe in Europa bekannt geworden sein.

§. 105, a. Magnetische Anziehung und Abstoßung. Nähert man das eine Ende eines Magnetstabes abwechselnd den beiden Polen einer Magnetnadel, so findet in dem einen Falle eine Anziehung, in dem anderen aber eine Abstoßung statt. Sind die Pole des Stabes vorher bestimmt worden, indem man denselben etwa nach Art einer Magnetnadel frei beweglich aufgehängt hat, so zeigt die Beobachtung, daß Nordpol und Nordpol, desgleichen Südpol und Südpol sich abstoßen, daß aber Nordpol und Südpol sich anziehen. Es gilt also das Gesetz: Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. — Das Vorstehende führt zu der Annahme, daß es zwei Arten von Magnetismus giebt, welche man als Nord- und Südmagnetismus unterscheidet. Von der ersteren Art enthält ein Magnet im Nordpol, von der letzteren Art im Südpol. Gleichnamige Magnetismen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Durch das angeführte Gesetz ist uns auch ein bequemes Mittel gegeben, den Magnetismus eines Körpers zu prüfen und zu untersuchen, welches sein Nord- oder

Südpol ist. Nähert man nämlich das eine oder das andere Ende dem einen oder anderen Pole einer Magnetnadel und findet dabei Abstoßung statt, so hat dasjenige Ende, welches den Nordpol der Nadel abstößt, Nordmagnetismus, und das Ende, welches den Südpol abstößt, Südmagnetismus. Die Anziehung eines einzelnen Poles würde dabei keine sichere Entscheidung geben, da auch ein Magnet und unmagnetisches Eisen sich anziehen. Wenn aber das zu prüfende Eisen mit dem nämlichen Ende anziehend auf beide Pole der Nadel wirkte, so würde man hieraus schließen, daß dasselbe gar keinen (oder nur sehr schwachen) Magnetismus besäße.

(Siehe auch §. 106, Anm.)

§. 105, b. Gesetz der magnetischen Fernwirkung. Mit der Entfernung nimmt die magnetische Anziehung oder Abstoßung rasch ab und zwar steht die Wirkung zweier Magnetpole auf einander im umgekehrten Verhältnis zu dem Quadrate der Entfernung; sie sinkt z. B. in der 2fachen Entfernung auf den 4., in der 3fachen auf den 9. Teil. — Der Raum, innerhalb dessen ein Magnet eine bemerkbare Wirkung ausübt, der Wirkungsbereich des Magnets, wird das magnetische Feld desselben genannt.

Das obige Gesetz ist zuerst von dem französischen Physiker Coulomb (1785) aufgestellt und durch Versuche auf zweifache Art nachgewiesen. Das eine Mal benutzte er die von ihm erfundene Drehwage, welche für magnetische Versuche im wesentlichen dieselbe Einrichtung hat, wie die unten (§. 124) beschriebene Drehwage für elektrische, nur daß an die Stelle der elektrisierten Körper Magnete oder genauer Magnetpole treten. — Über das zweite Verfahren siehe §. 115, Anm.

Die Wirkung, welche zwei Magnetpole auf einander ausüben, ist natürlich auch von der magnetischen Kraft derselben abhängig. Denken wir uns etwa, es werde der eine durch einen 3 mal stärkeren ersetzt, so steigt die Wirkung offenbar auch auf das 3 fache; tritt dann an die Stelle des zweiten einer von doppelter Stärke, so wird die letztere Wirkung sich noch verdoppeln, die ursprüngliche also auf das 6 fache wachsen. Überhaupt ist die Wirkung zweier Magnetpole auf einander dem Produkte ihrer magnetischen Kräfte proportional.

Setzen wir fest, daß ein Pol den Magnetismus 1 besitzen soll, wenn er auf einen gleich starken Pol im Abstande 1 die Kraft 1 ausübt, so ergiebt sich zufolge des Obigen für die Kraft f, mit welcher zwei Pole von der Stärke m und m' in dem Abstande r auf einander wirken, der Ausdruck:

$$f = \frac{m m'}{r^2}$$

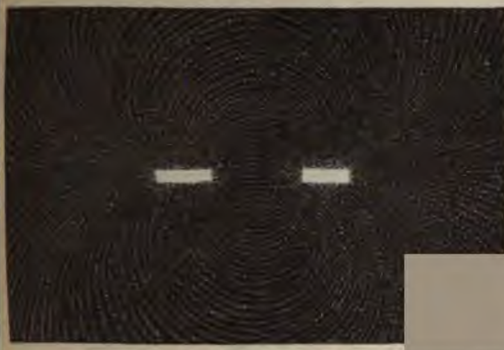
Nimmt man hierbei m und m' mit dem positiven oder negativen Vorzeichen, je nachdem sie Nord- oder Südmagnetismus bezeichnen, so wird f positiv im Falle der Abstoßung, negativ im Falle der Anziehung.

Im absoluten Maßsystem (§. 36, Anm.), welches für magnetische Messungen gewöhnlich angewendet wird, hat insbesondere ein Pol die Magnetismusmenge 1, wenn er auf einen gleich starken Pol im Abstande 1 cm die Kraft 1 Dyn ausübt.

In jedem Punkte eines magnetischen Feldes wirkt eine Kraft von bestimmter Größe und Richtung. Die letztere wird angenähert durch eine sehr kleine in dem betreffenden Punkte aufgestellte Magnetnadel angezeigt. Denkt man sich diese Nadel in der Art fortbewegt, daß sie dabei stets ihrer eigenen Richtung nachfolgt, so beschreibt dieselbe eine Linie, welche in jedem ihrer Punkte durch die Tangente die Richtung der daselbst stattfindenden Kraftwirkung des Magnetes angiebt. Solche Linien werden magnetische Kraftlinien genannt. Dieselben gehen von den Magnetpolen aus. Die Kraftlinien eines einzelnen Magnetpoles sind gerade Linien, welche sich von dem Pole aus strahlenförmig in den Raum ausbreiten. — Sehr deutlich lassen sich die magnetischen Kraftlinien auf die Weise zur Anschauung bringen, daß man über die wirksamen Pole ein Blatt Papier oder eine Glas-

eibe legt und darauf vorsichtig Eisenfeilspäne streut. Indem nämlich die Eisenteilchen an den inzelnen Stellen die Richtung der jedesmal wirkenden Kraft annehmen, geben sie durch ihre Lagerung den Verlauf der Kraftlinien an. Fig. 121 zeigt eine so gewonnene Darstellung von den Kraftlinien der Pole eines hufeisenförmigen Magnetes.

(Fig. 121.)



§. 106. Magnetische Verteilung. Bringt man einen Stab aus weichem Eisen (Schmiedeeisen) mit dem einen Ende in die Nähe eines kräftigen Magnetpoles, so vermag nunmehr auch dieser Stab selbst kleine Eisenstückchen anzuziehen und festzuhalten, ist also selbst magnetisch geworden, und zwar ergiebt die Prüfung mittelst einer Magnetnadel, daß der Stab, falls er einem Nordpol N (Fig. 122) gegenübersteht, an dem von diesem Pole abgewandten Ende ebenfalls einen Nordpol n, an dem angenäherten Ende dagegen einen Südpol s erhalten hat. — Ersetzt man den wirksamen Nordpol durch einen Südpol, so wechseln auch die Pole in dem Eisenstabe. Derselbe verliert seine magnetischen Eigenschaften wieder, wenn man ihn wieder aus der Nähe des Magnetpoles entfernt.

(Fig. 122.)



Verwendet man zu den angegebenen Versuchen einen Stab aus hartem Eisen oder Stahl, so wird dieser zwar auch magnetisch, aber weit weniger stark als das weiche Eisen; andererseits behält der Stahl dagegen seinen Magnetismus andauernd. So zeigt sich z. B. eine Näh- oder Stricknadel, nachdem man sie an einen kräftigen Magnetpol gehalten hat, auch fernerhin noch magnetisch. Allgemein gilt das Gesetz: *Bringt man in die Nähe eines Magnetpoles ein Stück Eisen, so wird dieses selbst magnetisch; es erhält an dem genäherten Ende ungleichnamigen, an dem abgekehrten Ende gleichnamigen Magnetismus.* Der erregte Magnetismus ist um so stärker, je näher das Eisen dem Magnetpole gebracht wird.

Zur Erklärung dieser Erscheinung liegt es, da das Eisen die beiden Magnetismen offenbar nicht durch Mitteilung erhalten haben kann, nahe, anzunehmen, daß dieselben schon ursprünglich in dem Eisen vorhanden waren. Solange dieses noch unmagnetisch war, hielten sich beide Magnetismen an jeder Stelle das Gleichgewicht; sowie aber das Eisen dem einen Pole, z. B. dem Nordpole, eines Magnetes genähert wurde, wurde das magnetische Gleichgewicht aufgehoben, Südmagnetismus angezogen, Nordmagnetismus abgestoßen, und es erhielt nun der erstere in der genäherten Hälfte, der letztere in der abgekehrten Hälfte, das Übergewicht. Man bezeichnet daher die obige Erscheinung als *magnetische Verteilung* oder *Influenz*.

In Übereinstimmung mit dem eben Gesagten stellen wir nun folgende Sätze auf:

1) *In jedem Eisen sind beide Magnetismen vorhanden.*

2) Im unmagnetischen Eisen halten sich Nord- und Südmagnetismus an jeder Stelle das Gleichgewicht, sodaß sie nach außen keine Wirkung ausüben. Man sagt, die beiden Magnetismen binden sich gegenseitig.

3) Im magnetischen Eisen hat in der einen Hälfte der Nordmagnetismus, in der andern der Südmagnetismus das Übergewicht. Den überschüssigen Magnetismus, welcher nach außen wirken kann, bezeichnet man als freien Magnetismus.

4) Ein Magnetpol hebt in jedem in seine Nähe gebrachten Eisen das magnetische Gleichgewicht auf, indem er ungleichnamigen Magnetismus anzieht, gleichnamigen abstößt. — Dabei setzt Stahl einer Bewegung der in ihm enthaltenen Magnetismen einen Widerstand entgegen, welcher Koercitivkraft genannt wird. Diese Kraft macht sich übrigens auch beim weichen Eisen, nur in erheblich geringerem Grade bemerkbar; denn auch im weichen Eisen bleibt, wenn dasselbe mal magnetisch erregt worden ist, stets eine kleine Spur von Magnetismus andauernd zurück.

Aus dem Gesetze der magnetischen Verteilung geht insbesondere hervor, daß es niemals eine andere magnetische Anziehung giebt als zwischen ungleichnamigen Magnetismen; denn indem ein Magnet unmagnetisches Eisen anzieht, ruft er zugleich in dem angenäherten Ende des Eisens entgegengesetzten Magnetismus hervor.

Von Erscheinungen, welche auf magnetischer Verteilung beruhen, führen wir hier noch die folgenden an: Hängt man an einen kräftigen Magnetpol ein Stückchen Eisendraht, so läßt sich an dieses noch ein zweites, an das zweite noch ein drittes und so fort noch zu wiederholten Malen ein neues Drahtstückchen anhängen.

Wenn man ein Stückchen Eisen mit dem einen Ende an den Nordpol eines Magnets hängt, und dann seitwärts dem oberen Ende des Eisens den Südpol eines kräftigen Magnets nähert, so fällt das Eisen ab. Denn, indem das Eisen an dem Nordpol hängt, hat es an dem oberen Ende Südmagnetismus erhalten, welcher von dem Südpole des genäherten Magnets abgestoßen wird. — Überhaupt schwächen sich zwei Magnetstäbe, welche mit ihren ungleichnamigen Polen aneinander liegen, in ihren Wirkungen nach außen und heben sich bei gleicher Stärke ganz auf; denn was der eine anzieht, stößt gerade der andere ab.

Aus diesen Versuchen ersieht man insbesondere deutlich, daß ein Körper, in welchem beide Magnetismen an jeder Stelle in gleichem Maße vorhanden sind, keine magnetischen Erscheinungen zeigen kann, da, was der eine Magnetismus anzieht, der andere ebenso stark abstößt.

Befindet sich ein schwacher Magnet in der Nähe eines sehr starken, so kann infolge magnetischer Influenz eine scheinbare Anziehung gleichnamiger Pole eintreten. Nähert man z. B. den Nordpol einer kleinen Magnetnadel, indem man die Nadel dabei zunächst festhält, dem Nordpole eines kräftigen Magnets, bis sich beide Pole beinahe oder wirklich berühren, so wird der Pol der Nadel nun nicht mehr abgestoßen, sondern angezogen. Es kehrt nämlich der kräftige Nordpol den magnetischen Zustand der Nadel um, indem er in der angenäherten Hälfte, welche ursprünglich einen Nordpol hatte, Südmagnetismus, dagegen in der abgekehrten, welche einen Südpol hatte, Nordmagnetismus hervorruft.

Hinsichtlich der Koercitivkraft heben wir noch hervor, daß dieselbe leichter überwunden wird, wenn das dem Einflusse eines Magnetpoles unterworfene Eisen eine Erschütterung erfährt, wenn es z. B. mit einem harten Körper gerieben wird. — Die Eigenschaften, durch welche sich der Stahl von dem weichen Eisen unterscheidet, verdankt er wesentlich seinem Gehalte an Kohlenstoff (s. §. 95. Anm.). Da nun auch das weiche Eisen nicht gänzlich frei von Kohlenstoff, also nicht vollkommen stahlfrei ist, so erklärt sich hieraus, daß letzteres ebens[illegible] oercitivkraft besitzt.

§. 107 (108). **Magnetisierung des Stahles.** Nach dem vorig. §. wird ein Stahlstab andauernd magnetisch, wenn man ihn mit dem einen Ende an den Pol eines kräftigen Magnetes hält. Stärkerer Magnetismus wird hervorgerufen, wenn man den Stab wiederholt mit den Polen des Magnets bestreicht. Man unterscheidet einfachen und doppelten Strich.

Beim einfachen Strich setzt man den einen Pol des Magnets auf die Mitte C des Stabes AB (Fig. 123), streicht nach dem einem Ende B hin und hebt hier auf; dieses wiederholt man mehrmals, indem man immer in der Mitte aufsetzt und in derselben Richtung streicht. Ebenso behandelt man auch die andere Hälfte AC mit dem entgegengesetzten Pole, indem man immer von C nach A hin streicht. — Kräftiger wird der Magnetismus in dem Stabe, wenn man zu gleicher Zeit zwei Magnete mit den ungleichnamigen Polen in der Mitte C so aufsetzt, daß sie unter spitzen Winkeln nach entgegengesetzten Seiten geneigt sind, dann gleichmäßig nach den beiden Enden A und B hinstreicht und dieses einigemal wiederholt. Die beiden Hälften des Stabes erhalten die Pole, welche denen entgegengesetzt sind, mit denen sie bestrichen sind.

(Fig. 123.)



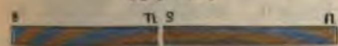
Beim doppelten Striche bedient man sich am bequemsten eines hufeisenförmigen Magnetes. Man setzt diesen auf die Mitte des zu magnetisierenden Stabes auf und streicht nun nach beiden Enden hin, sowohl vorwärts als rückwärts, und hebt endlich in der Mitte auf.

Ein anderes Mittel, durch welches sich bei weitem die kräftigsten Magnete erzeugen lassen, werden wir unten (§. 156) in dem elektrischen Strome kennen lernen.

§. 108 (107). **Innere Zusammensetzung eines Magnets.** Welches Verfahren man auch zur Magnetisierung des Stahls anwenden mag, immer erhält derselbe beide Magnetismen zugleich.

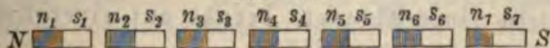
Wenn man ferner einen Magnetstab (z. B. eine magnetisierte Stricknadel) in der Mitte durchbricht, so zeigt die eine Hälfte nicht bloß Nord-, die andere Südmagnetismus, sondern jede von beiden Hälften stellt einen Magnet mit zwei Polen dar, indem zu den ursprünglichen Polen noch an den vorher vereinigten Enden entgegengesetzte Pole hinzukommen (Fig. 124). Legt man die Hälften wieder zusammen, so stellt das Ganze wieder einen Magnet dar, welcher an einem Ende einen Nordpol, am anderen Ende einen Südpol und in der Mitte eine indifferente Stelle hat, indem sich die zusammenliegenden entgegengesetzten Pole in ihrer Wirkung nach außen aufheben.

(Fig. 124.)



Da dieselbe Beobachtung auch bei weiterer Teilung des Magnets gemacht wird, so muß man sich einen Magnet in der Weise zusammengesetzt vorstellen, daß die kleinsten Teilchen desselben, seine Moleküle, selbst wieder vollständige Magnete mit Nord- und Südpol sind, und daß diese Molekularmagnete ihre gleichnamigen Pole nach derselben Richtung hin kehren, wie Fig. 125 für eine Molekülreihe *veranschaulicht.*

(Fig. 125.)



Weiter denkt man sich zur Erklärung der magnetischen Verteilung auch die Moleküle des unmagnetischen Eisens als vollständige Magnete; bei dem unmagnetischen Eisen sind aber die einzelnen Molekularmagnete nach allen möglichen Richtungen gelagert, sodaß die Wirkung, welche z. B. von dem Nordpol eines Moleküls ausgeht, durch die entgegengesetzte Wirkung des Südpols eines anderen Moleküls aufgehoben wird, das Eisen also keine magnetischen Eigenschaften zeigen kann. — Wird nun in die Nähe eines solchen Eisenstabs ein Pol, z. B. der Nordpol, eines Magnets gebracht, so drehen sich die Moleküle derart, daß ihre Südpole dem genäherten Nordpole zugewandt werden, die Nordpole die entgegengesetzte Lage annehmen, der Eisenstab also zum Magnete wird. — Hiernach besteht die Koercitivkraft des Eisens in dem Widerstande, welchen die Molekularmagnete desselben einer Drehung entgegen setzen.

Betreffs der eben erörterten Ansicht ist der folgende Versuch besonders beachtenswert: Eine mit Stahlfeilspänen angefüllte Glasröhre wird auf beiden Seiten verkorkt und magnetisiert: sie verhält sich dann wie ein Magnetstab. Wird die Röhre darauf stark geschüttelt, so daß die Späne ihre gegenseitige Lage verändern, so ist der Magnetismus verschwunden.

Die magnetische Kraft dieser Molekularmagnete muß nach der Mitte, der Indifferenzzone, hin zunehmen. Wäre nämlich die magnetische Kraft des Südpols s_1 (Fig. 125) ebenso groß wie die des daran stoßenden Nordpols n_2, so würden sich die Wirkungen beider aufheben, der Magnet NS würde also, da sich s_2 und n_3, s_3 und n_4 u. s. w. ebenfalls neutralisieren würden, keine kräftige Wirkung nach außen ausüben können. Da die Beobachtung dem widerspricht, so müssen wir annehmen, daß die Intensität von n_2 größer als die von s_1 sei, daß n_3 stärker als s_2 sei u. s. w., bis endlich die Intensität des Magnetismus in der Indifferenzzone am stärksten ist. Die innere magnetische Kraft eines Magnetes wächst also von den Polen nach der Indifferenzzone, die Wirkung nach außen von der Indifferenzzone nach den Polen zu. — Bestätigt wird diese Auffassung durch die Beobachtung, daß, wenn eine magnetisierte Stricknadel in der Mitte durchgebrochen wird, in der Nähe der Bruchstellen mehr Eisenfeilspäne haften als an den äußeren Enden.

§. 109. Magnetische Energie. Wird Stahl nach dem in §. 107 beschriebenen Verfahren magnetisiert, so ist damit stets ein Aufwand von Arbeit verbunden. Indem nämlich der benutzte Magnet in dem Stahl Magnetismus hervorruft, wirken die entgegengesetzten Magnetismen beider Körper infolge ihrer gegenseitigen Anziehung der Bewegung des Streichens hindernd entgegen, was man deutlich wahrnehmen kann, wenn man einen Stahlstab auf den Pol eines kräftigen Magnets auflegt und dann abzieht. Ein solcher Widerstand ist nicht vorhanden, wenn der Stahl an unmagnetischem Eisen gestrichen wird. Es ist daher im ersteren Falle eine größere Arbeit aufzuwenden als im letzteren. Dieser Überschuß an Arbeit wird zur Magnetisierung des Stahls verbraucht. Andererseits hat der Stahl dadurch, daß er magnetisiert worden ist, die Fähigkeit erlangt, Eisen anzuziehen und Widerstände, welche sich dieser Anziehung entgegen setzen, zu überwinden. Während also beim Magnetisieren des Stahls eine gewisse Arbeitsmenge oder Energie (§. 45) und zwar Energie in Form von mechanischer Arbeit verbraucht wird, kommt in dem magnetisierten Stahl Energie in anderer Form wieder zum Vorschein: *Das Magnetisieren des Stahls vermittelst eines Magnets beruht auf einer Umwandlung von mechanischer Energie in magnetische.*

Hinsichtlich der Arbeit beim Magnetisieren mittelst eines Magnets führen wir noch folgendes an: Ein wagerecht liegender Stahlstab AB (Fig. [illegible] 147) werde so magnetisiert, daß man den einen Pol eines Magnets zu wiederholten [illegible] von dessen Mitte C gegen das

Ende B hinführt. Bei dieser Bewegung sei keine Reibung zu überwinden. Da ferner die Bewegung nur in wagerechter Richtung erfolgt, so setzt auch die Schwere keinen Widerstand entgegen. Es kommen daher lediglich die Kräfte in Betracht, welche zwischen dem bewegten Magnetpole und den durch Influenz in dem Stahlstabe bei A und B hervorgerufenen Polen wirksam sind. Da nun der bewegte Magnetpol von dem in B angezogen, von dem in A abgestoßen wird, so wirken diese Kräfte auf eine Bewegung des Magnetpoles von dem Ende B nach der Mitte C hemmend, dagegen auf die umgekehrte Bewegung unterstützend. Bei der ersteren Bewegung wird also Arbeit verbraucht, bei der letzteren gewonnen. Beide Arbeitsmengen würden gleich sein, wenn die Pole ihre Kraft nicht änderten; nun erfährt aber beim Magnetisieren zunächst jedesmal, wenn der bewegte Magnet an das Ende des Stabes gelangt, der Pol des letzteren eine Verstärkung, und es ist infolgedessen bei der Zurückführung des Magnets von dem Ende zur Mitte eine größere Arbeit zu leisten als bei der umgekehrten Bewegung gewonnen wurde. Der Überschuß der geleisteten Arbeit über die gewonnene ist es, welcher die magnetische Energie des Stabes erzeugt; sobald der Magnetismus des Stabes nicht mehr zunimmt, wird bei jedem Hin- und Hergange des Magnets die auf dem einen Wege geleistete Arbeit vollständig auf dem anderen wieder gewonnen.

§. 110 (109). **Magnetische Tragkraft.** Um Magnete zum Tragen einzurichten, giebt man ihnen gewöhnlich die Form eines Hufeisens (Fig. 126); die beiden Enden desselben tragen nun zunächst einen **Anker** von weichem Eisen, an welchem man ein Gewicht hängt. Indem so beide Pole zugleich verteilend auf die Magnetismen des Ankers wirken und diese Magnetismen nun umgekehrt auf die Pole zurückwirken, vermögen sie bedeutend mehr als das Doppelte von dem zu tragen, was jeder allein zu tragen imstande ist.

(Fig. 126.)



Die magnetische Kraft eines Stahlstabes läßt sich nur bis zu einer gewissen Grenze steigern. Dieser stärkste Magnetismus bleibt dem Stahlstabe jedoch nicht dauernd, sondern vermindert sich rasch bis auf eine gewisse Stärke, welche dann ziemlich unverändert dieselbe bleibt und die **magnetische Sättigung** genannt wird. Dieser Sättigungspunkt hängt von der Beschaffenheit des Stahles ab und liegt im allgemeinen um so höher, je härter derselbe ist.

Der vorgelegte Anker wirkt infolge der gegenseitigen Influenz erhaltend auf die magnetische Kraft. Wenn man dagegen den Anker häufig abreißt, so verliert der Magnet an Kraft. Überhaupt wird durch Erschütterungen die Kraft eines Magnets geschwächt. — Die Kraft eines Magnets wird ferner durch Erwärmen vermindert, sie wird zerstört durch Glühen.

Da dicke Stahlstücke sich verhältnismäßig nicht viel stärker als dünne magnetisieren lassen, so pflegt man, um kräftige Magnete herzustellen, mehrere dünne Magnetstäbe mit ihren gleichnamigen Polen aneinander zu legen (s. Fig. 126). Man nennt ein solches Bündel Stäbe ein **magnetisches Magazin**. Die Tragkraft eines solchen Magazins ist nicht gleich der Summe der Tragkräfte der einzelnen Magnetstäbe, sondern kleiner. Dies erklärt sich daraus, daß jeder Pol in den benachbarten gleichnamigen Polen durch Influenz entgegengesetzten Magnetismus erzeugt und so die benachbarten Pole sich gegenseitig schwächen. Diese Schwächung ist geringer, wenn, wie Fig. 126 zeigt, die Polenden der nach innen gelegenen Stäbe die der äußeren ein wenig überragen.

Kleine Magnete tragen verhältnismäßig mehr als große; so trug z. B. ein Magnet von 100 g das 22fache seines Gewichts, einer von $1/2$ kg das 12fache, von 1 kg das 10fache und von 20 kg nicht ganz das 4fache seines eigenen Gewichtes.

Die kräftigsten Magnete, welche über 1000 kg zu tragen vermögen, lassen sich mittelst des elektrischen Stromes erhalten (s. §. 156).

§. 111, a (112). **Magnetische Abweichung.** Wenn man die Richtung einer Magnetnadel mit der Mittagslinie, d. h. mit der genauen Richtung von Norden nach Süden vergleicht, so findet man, daß das Nordende der Magnetnadel nicht genau nach Norden zeigt, sondern in unsern Gegenden um einige Grade gegen Westen abweicht. Eine Ebene, welche durch die beiden Pole der an irgend einem Orte befindlichen Magnetnadel und durch den Mittelpunkt der Erde geht, wird der magnetische Meridian dieses Ortes genannt, zum Unterschiede von dem geographischen Meridian, welcher durch die Pole der Erde geht. Der Winkel, welchen der magnetische Meridian mit dem geographischen bildet (oder was dasselbe sagt, der Winkel, um welchen die magnetische Achse der Nadel von der Mittagslinie abweicht), heißt die magnetische Abweichung oder Deklination. Je nachdem das Nordende der Nadel von der Mittagslinie nach Osten oder Westen abweicht, unterscheidet man eine östliche und eine westliche Deklination. Nadeln, welche zur Bestimmung dieser Abweichung dienen, werden Deklinationsnadeln genannt.

Die magnetische Abweichung ist für verschiedene Orte der Erdoberfläche verschieden. Sie ändert sich ferner an demselben Orte im Laufe der Zeit (§. 114). In Europa, mit Ausnahme der östlichen Hälfte von Rußland, weicht gegenwärtig das Nordende der Magnetnadel vom geographischen Norden gegen Westen ab und zwar im allgemeinen um so mehr, je westlicher der Ort gelegen ist.

Wenn man die magnetischen Meridiane der Erde bis zu ihrem Durchschnitte auf der Erdoberfläche verlängert, so durchschneiden sich dieselben keineswegs wie die geographischen Meridiane sämtlich in den nämlichen beiden Punkten. Eine solche Konvergenz verschiedener magnetischer Meridiane nach demselben Punkte findet nur in der Nähe gewisser Stellen der Erdoberfläche statt, welchen man deshalb den Namen magnetische Pole gegeben hat. Der eine dieser Pole liegt im äußersten Norden von Nordamerika bei der Halbinsel Boothia Felix. Als man denselben umfuhr, machte die Magnetnadel einen vollständigen Umlauf, indem sie jederzeit gegen denselben hinwies, so daß, als man sich nördlich von diesem Pole befand, das Ende, welches in unseren Gegenden nach Norden gerichtet ist, sich gegen Süden wendete. In der unmittelbaren Nähe des Poles selbst zeigte die Nadel das Bestreben, eine bestimmte Lage anzunehmen, nicht mehr.

Ein zweiter Magnetpol findet sich auf der südlichen Erdhälfte im Süden der Ostküste Neuhollands. Die beiden Pole liegen einander nicht diametral gegenüber.

Im allgemeinen ändert sich in Europa die Abweichung nur von Westen nach Osten verhältnismäßig bedeutend, von Norden nach Süden dagegen nur sehr wenig. — Die westliche Abweichung betrug im Jahre 1880 (ungefähr) zu Lissabon $19^1/_2{}^0$, Paris 17^0, Bonn $14^1/_2{}^0$, Hamburg 13^0, Berlin $11^1/_2{}^0$, Königsberg 8^0, Petersburg 1^0; bei Moskau war dagegen die Abweichung 2^0 östlich.

Der nördliche Magnetpol wurde 1831 von dem Seefahrer Roß (ungefähr in 70^0 nördl. Breite und 97^0 westl. Länge von Greenwich) aufgefunden. — Der südliche Magnetpol ist ebenfalls von Roß,

welcher sich demselben sehr näherte, ohne ihn jedoch ganz zu erreichen, (ungefähr in 75° südl. Breite und 154° östl. Länge) genauer bestimmt worden.

Verbindet man sämtliche Orte der Erdoberfläche, welche die nämliche magnetische Abweichung haben, so erhält man Linien gleicher Abweichung oder isogonische Linien. Dieselben sind von besonderer Wichtigkeit für den Seefahrer.

Für sehr genaue Beobachtungen der Deklination sowie auch für andere magnetische Messungen dient das (von Gauß angegebene) Magnetometer. Dasselbe besteht im wesentlichen aus einem Magnetstabe, welcher an einem feinen Faden (aus Metall oder ungedrehter Seide) aufgehängt ist und behufs Anwendung des in §. 192, Anm. beschriebenen Verfahrens der Spiegelablesung einen kleinen Spiegel trägt.

§. 111, b (113). **Magnetische Neigung.** Die Deklinationsnadel vermag sich nur in einer wagerechten Ebene zu drehen, hat also keine freie Beweglichkeit. Es entsteht daher die Frage, ob sich eine frei bewegliche Magnetnadel etwa auch gegen den Horizont neigt. Um dies zu erkennen, kann man sich der in Fig. 127 abgebildeten Vorrichtung bedienen. In einem Rahmen, welcher an einem feinen Faden aufgehängt ist, ist eine Stahlnadel so angebracht, daß sie sich um eine wagerechte Achse drehen kann, welche genau durch den Schwerpunkt der Nadel geht. Solange die Nadel unmagnetisch ist, ruht sie (zufolge §. 26, a) in jeder beliebigen Lage. Wird aber die Nadel magnetisiert, so stellt sie sich in die Ebene des magnetischen Meridians und nimmt hier eine geneigte Lage an, indem das Nordende der Nadel sich senkt und die Achse der Nadel mit dem Horizonte in unseren Gegenden ungefähr einen Winkel von 67° bildet. — Der Winkel, welchen die Achse einer frei beweglichen Magnetnadel mit dem Horizonte macht, wird die magnetische Neigung oder Inklination genannt. Eine Nadel, welche dazu bestimmt ist, die magnetische Neigung zu messen, heißt Inklinationsnadel.

(Fig. 127.)



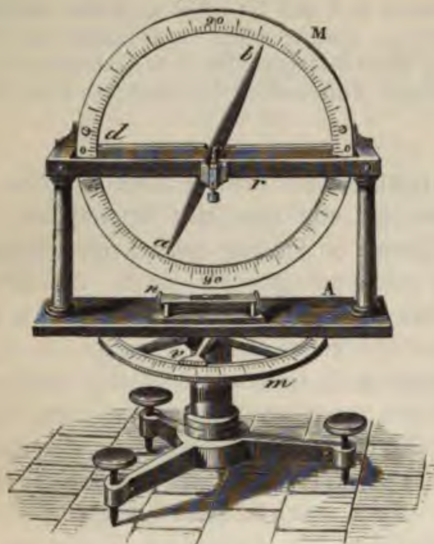
Die magnetische Neigung ist ebenso, wie die Abweichung, für verschiedene Orte der Erdoberfläche verschieden und ändert sich auch an demselben Orte mit der Zeit (§. 114). Sie wächst im allgemeinen, wenn man sich dem im nördlichen Amerika gelegenen Pole nähert, an dem Pole selbst steht die Inklinationsnadel senkrecht; die Neigung ist also hier = 90°. Mit der Entfernung vom Pole nimmt die Neigung im allgemeinen ab, und in der Nähe des geographischen Äquators giebt es Orte, wo die Inklinationsnadel wagerecht schwebt, die Neigung also = 0 ist. Eine zusammenhängende Linie, welche durch alle diese Orte der Erdoberfläche geht, wird der magnetische Äquator der Erde genannt. Derselbe ist eine unregelmäßig gekrümmte Linie, welche den geographischen Äquator in zwei einander nicht genau gegenüberliegenden Punkten durchschneidet und sich an anderen um mehrere Grade von ihm entfernt.

In denjenigen Gegenden der Erde, welche südlich vom magnetischen Äquator gelegen sind, ist das Südende der Inklinationsnadel unter den Horizont geneigt und zwar im allgemeinen um so stärker, je mehr man sich dem südlichen Magnetpole nähert.

Die Inklination betrug 1880 (ungefähr) zu Lissabon 61°, Paris 66°, Bonn 66°, Berlin 67°, Hamburg 67½°, Königsberg 67½°, Moskau 68°, Petersburg 71°.

Linien, welche die Orte gleicher Neigung verbinden, werden Isoklinen genannt. In der Nähe des magnetischen Äquators sind diese Linien demselben fast parallel; in der Nähe der magnetischen Pole sind sie mit der hohlen Seite gegen diese gewendet.

(Fig. 128.)



Die magnetische Neigung ist 1543 von Hartmann in Nürnberg entdeckt worden.

Zur Abmessung der Neigung dient das Inklinatorium (Fig. 128). Dasselbe besteht aus einer Inklinationsnadel ab, deren Neigung an einem eingeteilten Vertikalkreise M abgelesen werden kann. Der Rahmen r, auf welchem die wagerechte Drehungsachse der Nadel ruht, ist an dem Gestell A befestigt und läßt sich mit diesem um die senkrechte Achse des ganzen Instrumentes drehen; die Größe einer solchen Drehung kann vermittelst des an dem Gestell befestigten Armes v und der wagerechten Kreisteilung m bestimmt werden. Beim Gebrauch ist das Gestell A so zu drehen, daß der Vertikalkreis M in die Ebene des magnetischen Meridians fällt (s. d. Anm. d. folg. §.). — Die Abmessungen der Neigung mittelst des Inklinatoriums sind übrigens bei weitem weniger genau als die Beobachtungen der Deklination mittelst des Magnetometers.

§. 112. Erdmagnetismus. Die in den vorig. §§. besprochenen Erscheinungen der Deklination und Inklination erklärt man durch die Annahme, daß die Erde magnetische Eigenschaften besitze. Nach §. 105, a muß dann der nördliche Magnetpol der Erde Südmagnetismus, der südliche dagegen Nordmagnetismus enthalten.

Die Wirkung des Erdmagnetismus auf eine Magnetnadel ist keine anziehende, sondern nur eine richtende. Dies findet seine Erklärung in folgendem: Bringt man eine Magnetnadel in die Nähe eines festen Magnetes, so übt dieser, da die magnetische Kraft mit der Entfernung abnimmt, auf den ihm zugewendeten Pol der Nadel eine stärkere Wirkung aus, als auf den abgewendeten. Ist aber die Nadel sehr weit von dem Magnete entfernt und dabei recht klein, so kann man die Abstände ihrer Pole von dem Magnete als gleich ansehen; letzterer wird daher den einen Pol der Nadel ebenso stark anziehen, wie er den anderen abstößt, also nur richtend auf die Nadel wirken. Ebenso verhält es sich nun beim Erdmagnetismus, indem der gegenseitige Abstand der beiden Pole einer Magnetnadel im Verhältnis zu der Entfernung, welche die Nadel von den magnetischen Polen der Erde hat, verschwindend klein ist.

Die Richtung des Erdmagnetismus wird durch eine um ihren Schwerpunkt freibewegliche Magnetnadel, also durch die Inklinationsnadel angegeben. Für diese kommt die erdmagnetische Kraft mit ihrer vollen Stärke zur Geltung. Dagegen kann auf die Deklinationsnadel nur ein Teil des Erdma[…] nwirken.

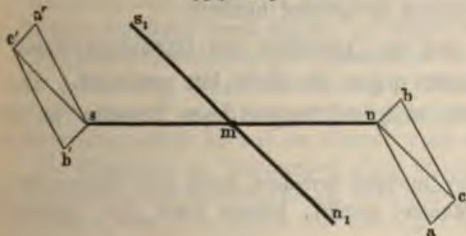
Diesen Bruchteil findet man, indem man sich die erdmagnetische Kraft AB (Fig. 129) in zwei Seitenkräfte zerlegt denkt, von denen die eine AD eine wagerechte, die andere AC eine senkrechte Richtung hat. Die wagerechte Seitenkraft AD ist es, welche die Deklinationsnadel richtet, die senkrechte AC wird durch die Festigkeit der Drehungsachse der Nadel aufgehoben.

(Fig. 129.)



Die Wirkung des Erdmagnetismus zeigt sich auch noch darin, daß unmagnetisches Eisen bei passender Lage magnetisch wird. So läßt sich z. B. bei einer aufrecht stehenden Stange aus weichem Eisen vermittelst einer empfindlichen Magnetnadel am unteren Ende ein Nordpol, am oberen ein Südpol wahrnehmen; kehrt man die Stange um, so wechseln auch die Pole an derselben, sodaß stets unten ein Nordpol, oben ein Südpol vorhanden ist, was vollständig damit übereinstimmt, daß in unseren Gegenden der Südmagnetismus der Erde über den Nordmagnetismus das Übergewicht hat und demnach am unteren als dem angenäherten Ende Nordmagnetismus entstehen muß. — Die verteilende Wirkung des Erdmagnetismus wird sich, wie auch die Erfahrung bestätigt, am stärksten äußern, wenn man die Eisenstange in eine der Inklinationsnadel parallele Lage (AB, Fig. 129) bringt; doch ist die Wirkung auf senkrecht stehendes Eisen in unseren Gegenden, wo die Richtung des Erdmagnetismus von der senkrechten nur um einen kleinen Winkel (BAC = etwa $^1/_4$ von 90°) abweicht, auch nur um ein Geringes kleiner; die Wirkung hört dagegen ganz auf, wenn die Stange mit der Inklinationsnadel einen rechten Winkel bildet, wenn man ihr z. B. eine wagerechte Lage senkrecht zur Deklinationsnadel, also ungefähr von Osten nach Westen giebt. Allgemein kommt für den Eisenstab in beliebiger Lage nur die in die Richtung des Stabes fallende Seitenkraft, d. i. die Projektion des Erdmagnetismus auf die Richtung des Stabes zur Geltung. — Aus dem Vorstehenden erklärt sich auch die Erscheinung, daß Gerätschaften von Stahl nicht selten schwach magnetisch werden, insbesondere wenn dieselben Erschütterungen, wie Schlagen, Hämmern u. s. w. ausgesetzt sind.

(Fig. 130.)



In betreff der richtenden Wirkung des Erdmagnetismus wird noch das Folgende ausgeführt: Es sei in Fig. 130 ns eine um ihren Schwerpunkt m freibewegliche Magnetnadel, ferner na nach Größe und Richtung die Kraft, mit welcher der nördliche Magnetpol der Erde in unseren Gegenden den Nordpol n der Nadel anzieht; dann stellt sa' ‖ und = na die Kraft dar, mit welcher der nämliche Pol der Erde den Südpol s der Nadel abstößt. Der südliche Magnetpol der Erde übt infolge der größeren Entfernung eine geringere Wirkung aus als der nördliche. Es sei nb die Kraft, mit welcher der südliche Pol den Nordpol der Nadel abstößt, also sb' ‖ und = nb die Kraft, mit welcher er den Südpol anzieht. Die Kräfte na und nb setzen sich nun in dem Parallelogramm nabc zu der Mittelkraft nc, die Kräfte sa' und sb' in dem Parallelogramm sa'b'c' zu der Mittelkraft sc' zusammen, und es ist, da die einander entsprechenden Kräfte parallel und gleich sind, auch nc ‖ und = sc'. Unter der Wirkung dieser beiden gleichen und parallelen, aber entgegengesetzten Kräfte dreht sich die Nadel um ihren Schwerpunkt m, bis sie die Lage $n_1 s_1$ ‖ nc einnimmt, indem dann die beiden in n_1 und s_1 angreifenden Kräfte sich gegenseitig aufheben.

Die verhältnismäßige Größe der wagerechten und senkrechten Seitenkraft des Erdmagnetismus kann man trigonometrisch leicht bestimmen: Ist nämlich die Kraft des Erdmagnetismus (Fig. 129) AB = P, die wagerechte Seitenkraft AD = Q, die Senkrechte AC = R und die Neigung BAD = α, [illegible] $= P \cos \alpha$ und $R = P \sin \alpha$.

[illegible]emein kommt für eine Magnetnadel, deren Schwingungsebene nicht mit dem magnetischen [illegible]usammenfällt, nur die Seitenkraft zur Geltung, welche der Schwingungsebene parallel ist.

d. i. die Projektion der erdmagnetischen Kraft auf diese Ebene, während die andere Seitenkraft, welche zur Schwingungsebene senkrecht steht, also parallel zur Drehungsachse der Nadel ist, durch die Festigkeit dieser Achse aufgehoben wird. Stellt man insbesondere die Drehungsachse einer Magnetnadel parallel der Deklinationsnadel (|| AD, Fig. 129), so kommt nur die senkrechte Seitenkraft (AC) zur Wirkung, und die Nadel nimmt daher eine genau senkrechte Lage ein. Würde die Drehungsachse parallel der Inklinationsnadel (|| AB) gestellt, so könnte der Erdmagnetismus auf die Nadel gar nicht einwirken.

Das Vorstehende bietet auch ein Mittel, um die Nadel des Inklinatoriums (Fig. 128, S. 152) genau in die Ebene des magnetischen Meridians einzustellen. Dreht man nämlich das Gestell, bis die Nadel gerade abwärts zeigt, so liegt der Vertikalkreis (M) senkrecht zum magnetischen Meridian; er wird also mit diesem zusammenfallen, wenn man das Gestell nun noch um 90° dreht.

§. 113 (114). Intensität des Erdmagnetismus. Abweichung und Neigung bestimmen für jeden Ort die Richtung der erdmagnetischen Kraft. Aufschluß über die Größe dieser Kraft giebt das im folgenden erörterte Verfahren der Schwingungen.

Wird eine Magnetnadel aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht und dann sich selbst überlassen, so gerät sie unter der Wirkung des Erdmagnetismus in Schwingungen. Diese entsprechen durchaus den Schwingungen, welche ein Pendel (§. 40, a) infolge der Schwere ausführt. Man kann daher in ähnlicher Weise, wie man durch Schwingungen desselben Pendels an verschiedenen Orten die ungleiche Größe der Schwerkraft nachzuweisen vermag, auch die Stärke des Erdmagnetismus untersuchen, indem man die Schwingungen zählt, welche derselbe Magnetstab an verschiedenen Orten in gleichen Zeiten vollendet. — Da sich die Messungen an einer Inklinationsnadel nicht mit der Schärfe ausführen lassen, wie an einer Deklinationsnadel, so benutzt man für derartige Untersuchungen die letztere und erhält so zunächst die wagerechte Seitenkraft des Erdmagnetismus. Aus dieser kann dann unter Berücksichtigung der Neigung die volle Kraft durch Rechnung hergeleitet werden.

Man hat auf diese Art gefunden, daß die Intensität des Erdmagnetismus im allgemeinen von dem magnetischen Äquator gegen die Pole hin zunimmt. Sie ist jedoch weder an den Polen am stärksten, noch am magnetischen Äquator an allen Punkten dieselbe.

Linien, welche die Orte gleicher magnetischer Intensität verbinden, nennt man isodynamische. Dieselben sind keineswegs dem magnetischen Äquator parallel, sondern haben eine eigentümliche Gestaltung.

Zufolge des Obigen ist die Schwingungsdauer einer Magnetnadel für kleine Schwingungen von der Weite derselben unabhängig (s. §. 40, a); die Nadel führt, solange die treibende Kraft sich nicht ändert, in gleichen Zeiten gleich viel Schwingungen aus; schwingt sie aber unter der Wirkung ungleicher Kräfte, so gilt das Gesetz (§. 40, c): Die bewegenden Kräfte verhalten sich wie die Quadrate der für gleiche Zeiten gemessenen Schwingungszahlen. Macht z. B. eine Nadel zu Peru in 10 Minuten 211 Schwingungen, während sie zu Paris in derselben Zeit deren 245 vollendet, so verhalten sich die auf die Nadel wirkenden Kräfte zu Peru und zu Paris wie $211^2 : 245^2$, also ungefähr $= 3 : 4$.

Bezeichnet P die Kraft des Erdmagnetismus, Q den auf die Deklinationsnadel wirkenden Teil, α die magnetische Neigung, so ist zufolge der Anm. d. vorig. §. $Q = P \cos \alpha$, also $P = Q : \cos \alpha$. Macht also eine Deklinationsnadel an einem Orte mit der Neigung α n, an einem andern Orte mit der Neigung α' n' Schwingungen in einer bestir[illegible]hen an diesen beiden Orten die Intensitäten

des Erdmagnetismus in dem Verh[illegible]

Gewöhnlich wird die Stärke des Erdmagnetismus in absolutem Maße (§. 36, Anm.) angegeben. Ist in diesem der Erdmagnetismus (die Stärke seines magnetischen Feldes, §. 105, b) an einem Orte etwa = 0,3, so heißt das: der Erdmagnetismus wirkt daselbst auf einen Magnetpol, welcher den Magnetismus 1 besitzt, mit einer Kraft von 0,3 Dyn. In absolutem Maße betrug die horizontale Intensität 1885 zu Berlin ungefähr 0,19.

Vergleichende Messungen über die Intensität des Erdmagnetismus sind zuerst (1779—1803) von A. v. **Humboldt** in Peru und zu Paris angestellt worden.

§. 114 (115). **Veränderungen des Erdmagnetismus.** Durch Abweichung, Neigung und Intensität ist der Erdmagnetismus an einem beliebigen Ort bestimmt; deswegen nennt man diese drei Größen auch die **Elemente** des Erdmagnetismus. Dieselben sind an dem nämlichen Orte mehrfachen Änderungen unterworfen, welche insbesondere bei der Abweichung am deutlichsten hervortreten.

Im Laufe der Jahre zeigt die Magnetnadel fortgesetzt eine langsame Bewegung; in unseren Gegenden nähert sich z. B. gegenwärtig das Nordende derselben dem geographischen Norden, sodaß also die Abweichung sich vermindert. Man bezeichnet diese Bewegung als **säkulare**. — Außer derselben treten auch kleinere **jährliche** und **tägliche regelmäßige Schwankungen** auf. — Häufig bemerkt man ferner unregelmäßige Schwankungen, welche **Störungen** genannt werden. Letzteres ist besonders zur Zeit eines Nordlichtes (§. 138) der Fall.

Wie die Deklination, so nimmt auch die Inklination in Deutschland gegenwärtig ab; die mittlere jährliche Abnahme beträgt für erstere etwa 7—8′, für letztere etwa 2′.

In unseren Gegenden zeigte das Nordende der Magnetnadel in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts (z. B. in Paris 1663) für kurze Zeit mal genau nach Norden; vorher war die Abweichung eine östliche gewesen, nachher wurde sie eine westliche; letztere wuchs bis in den Anfang dieses Jahrhunderts auf ihren höchsten Wert (z. B. zu Paris 1814 auf $22^1/_2{}^0$) und nimmt seitdem wieder ab.

Die **jährliche** Periode der magnetischen Elemente ist nur sehr unbedeutend; im Sommer steht das Nordende der Nadel etwas östlicher, im Winter etwas westlicher.

Die **täglichen** Variationen verlaufen in der Weise, daß das Nordende der Nadel sich von morgens gegen 8 Uhr bis etwa nachmittags 2 Uhr nach Westen, in der übrigen Zeit aber gen Osten bewegt, also morgens gegen 8 den östlichsten, nachmittags gegen 2 den westlichsten Stand einnimmt; diese Bewegung umfaßt bei uns im Sommer etwa einen Winkel von 13′, im Winter von 9′.

Die Störungen der Magnetnadel zeigen zugleich mit den Nordlichtern und noch einer anderen Naturerscheinung, den Sonnenflecken (§. 285), deutlich eine mittlere 11jährige Periode, sodaß die drei Erscheinungen nach je 11 Jahren zur selben Zeit besonders stark auftreten; zum letzten Male war dies 1884 der Fall.

Eine ausreichende Erklärung der in diesem §. angegebenen Erscheinungen ist bislang noch nicht gefunden.

§. 115. Messung der Stärke eines Magnets. Das in §. 113 angegebene Schwingungsverfahren setzt uns auch in den Stand, die Stärke zweier Magnetstäbe mit einander zu vergleichen. Man läßt nämlich zu dem Zweck die Stäbe gleichzeitig an demselben Orte schwingen. Da dann der Erdmagnetismus auf beide mit gleicher Stärke wirkt, so hängt es lediglich von der Größe ihrer eigenen magnetischen Kräfte ab, ob sie in derselben Zeit eine gleiche oder ungleiche Anzahl von Schwingungen vollenden. Diese Schwingungszahlen geben daher über die verhältnismäßige Stärke der beiden Magnete Aufschluß.

Vermittelst der Schwingungsmethode hat Coulomb auch das Gesetz der magnetischen Fernwirkung (§. 105, b) nachgewiesen. Er ließ zunächst eine kleine Magnetnadel für sich schwingen; sie vollendete

in einer Minute 15 Schwingungen. Hierauf stellte er einen langen Magnetstab in senkrechter Lage so auf, daß der eine Pol desselben dem ungleichnamigen Pole der Nadel gerade gegenüber stand. Bei der bedeutenden Länge des Stabes konnte die Wirkung seines zweiten Poles auf die Nadel als verschwindend klein angesehen und daher außer Betracht gelassen werden. Die Nadel machte nun, als der wirksame Pol des Stabes von dem Mittelpunkte der Nadel um 10 cm abstand, 41 und, als der Abstand auf 20 cm vergrößert wurde, nur 24 Schwingungen in der Minute. Bei den drei Versuchen geschahen die Schwingungen der Nadel das erste Mal unter der alleinigen Wirkung des Erdmagnetismus, die beiden anderen Male aber unter der vereinigten Wirkung des Erdmagnetismus und des Magnetpoles.

Bezeichnen wir die Kraft des ersteren mit e, die des letzteren in der Entfernung von 10 cm mit m, von 20 cm mit m', so gelten nach dem Gesetze der Schwingungszahlen (§. 113, Anm.) die Gleichungen:

$$\frac{m + e}{e} = \frac{41^2}{15^2}; \quad \frac{m' + e}{e} = \frac{24^2}{15^2}.$$

Aus diesen ergiebt sich leicht:

$$\frac{m}{e} = \frac{41^2 - 15^2}{15^2}; \quad \frac{m'}{e} = \frac{24^2 - 15^2}{15^2}$$

und daraus weiter durch Division:

$$m : m' = 41^2 - 15^2 : 24^2 - 15^2 = 1456 : 351,$$

welches Verhältnis nahe $= 4 : 1$ ist, während sich die den beiden Kräften entsprechenden Entfernungen 10 und 20 cm wie $1 : 2$ verhalten.

Das eben beschriebene Verfahren läßt sich auch dazu benutzen, die Stärke zweier Magnetstäbe mit einander zu vergleichen, indem man der Nadel anstatt eines Magnetes in verschiedenen Entfernungen nach einander die beiden Magnete in gleicher Entfernung gegenüberstellt.

In ähnlicher Weise kann man auch untersuchen, wie die magnetische Kraft an einem Magnetstabe verteilt ist, indem man die Nadel vor verschiedenen Querschnitten desselben in Schwingungen versetzt. Man findet so, daß die Pole nicht an den Enden, sondern in einiger Entfernung von denselben liegen.

Zu den hier angeführten Vergleichungen magnetischer Kräfte läßt sich ferner auch die Drehwage (§. 105, b, Anm.) benutzen.

Befinden sich zwei Magnetstäbe in einem verhältnismäßig großen Abstande von einander, so ist die Wirkung der entfernteren Pole nicht mehr wie oben verschwindend klein im Vergleich zur Wirkung der näheren. Unter Zugrundelegung des Coulombschen Gesetzes über die Wirkung zweier Magnetpole ergiebt die hier nicht durchzuführende Berechnung in voller Übereinstimmung mit der Erfahrung das Gesetz: Die gesamte Wirkung, welche zwei Magnetstäbe auf einander ausüben, nimmt ab mit der dritten Potenz der Entfernung, sinkt also z. B. in der doppelten Entfernung auf den 8. Teil.

*§. 116 (110). **Diamagnetismus.** Außer dem Eisen besitzen auch noch die Metalle Nickel und Kobalt in beträchtlichem Maße, wenngleich schwächer als Eisen, die Eigenschaft, vom Magnete angezogen und selbst magnetisch zu werden. Sehr kräftige Magnete (die Elektromagnete, §. 156) üben ferner auch auf alle anderen Stoffe eine, wenn auch nur sehr schwache Wirkung aus; dabei zeigt sich aber, daß manche Stoffe nicht angezogen, sondern abgestoßen werden. Diese Körper nennt man zum Unterschiede von den magnetischen, d. h. von denjenigen, auf welche der Magnet anziehend wirkt, diamagnetische. Am stärksten diamagnetisch zeigen sich die Metalle Wismut und Antimon. — Die Abstoßung deutet darauf hin, daß bei einem diamagnetischen Körper in dem einem Magnetpole genäherten Ende gleichnamiger Magnetismus entsteht.

Bringt man zwischen die Pole eines starken Elektromagnets ein an einem Coconfaden aufgehängtes keines Stäbchen aus Wismut, so st[illegible]lge der Abstoßung nicht wie ein Eisenstäbchen in die Verbindungslinie der P[illegible]

Abgesehen von Eisen, Nickel und Kobalt erfahren von sehr kräftigen Magneten eine (schwache) Anziehung unter den Metallen z. B. Mangan, Chrom, Platin, unter den nicht metallischen Stoffen z. B. Flußspat, Graphit, Holzkohle, Siegellack. — Diamagnetisch sind die vorstehend nicht genannten bekannteren Metalle, nämlich mit abnehmender Wirkung: Wismut, Antimon, Zink, Zinn, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold; ferner zeigen sich diamagnetisch: Wasser, Spiritus, Phosphor, Schwefel, Zucker, Holz u. a. m.

Der Diamagnetismus ist von Faraday in England (1845) entdeckt worden. Zum Unterschiede von den diamagnetischen nannte er die magnetischen Körper paramagnetische.

Siebenter Abschnitt.

Elektricität.

A. Reibungselektricität.

§. 117. Elektrische Grunderscheinungen. Wenn man eine Siegellackstange an einem wollenen Lappen reibt, so erhält dieselbe die Eigenschaft, 1) leichte Körper, z. B. Stückchen Papier, Kork, Holundermark u. s. w. anzuziehen. Nähert man derselben im Dunkeln einen anderen Körper, z. B. den Finger, so zeigt sich 2) zwischen der Siegellackstange und dem Finger ein Funke, welcher 3) mit einem schwachen Geräusche, Knistern, verbunden ist. Man nennt die angeführten Erscheinungen elektrische, die uns unbekannte Ursache derselben Elektricität und einen Körper elektrisiert oder elektrisch, wenn er elektrische Erscheinungen zeigt.

Siegellack läßt sich demnach durch Reiben elektrisch machen. Dasselbe gilt auch von andern Körpern, z. B. von Bernstein, Hartgummi (Kautschuk), überhaupt von Harz, ferner von Glas, Schwefel, Seide, Haaren u. a. m. Besonders kräftig werden Siegellack oder Hartgummi elektrisch, wenn man es mit Pelz reibt, ferner Glas, wenn es mit einem Lappen von Leder oder Wolle gerieben wird, der mit Amalgam (einer Legierung von Quecksilber, Zink und Zinn) bestrichen ist.

Die elektrische Eigenschaft des Bernsteins, von dessen griechischer Bezeichnung (ἤλεκτρον) der Name Elektricität herstammt, kannten schon die Alten. Daß auch andere Körper durch Reibung elektrisch werden können, zeigte zuerst 1600 der Engländer Gilbert.

§. 118, a. Elektrische Leitung. Um die Eigenschaften eines elektrischen Körpers genauer zu untersuchen, hängen wir einen leichten Körper, etwa ein Kügelchen aus Kork oder Holundermark an einem seidenen Faden auf. Man nennt eine solche Vorrichtung ein elektrisches Pendel. Nähern wir dann dem Kügelchen des Pendels eine geriebene Siegellackstange, so wird es von dieser erst angezogen, nach der Berührung mit derselben aber abgestoßen, und es zeigt sich das Kügelchen nun gleichfalls elektrisch, wenn auch in schwächerem Maße; es zieht nämlich leichte

Körperchen an, z. B. ein anderes an einem seidenen Faden hängendes Kügelchen, und stößt es nach der Berührung wieder ab.

Hiernach läßt sich ein Körper auch auf die Weise elektrisch machen, daß man ihn mit einem schon elektrisierten Körper berührt. Diese Erscheinung können wir uns vorläufig durch die Annahme erklären, daß von dem elektrisierten Körper bei der Berührung Elektricität auf den anderen Körper übergeht. Dementsprechend bezeichnet man die hier erwähnte Art der Elektrisierung als elektrische Mitteilung. Man sagt auch, der Körper werde mit Elektricität geladen.

Wenn man ein elektrisches Pendel durch Mitteilung elektrisch macht und dann das Kügelchen desselben mit dem Finger berührt, so verliert es seine Elektricität wieder; es wird entladen. Das Gleiche tritt ein, wenn man eine metallene Stange in die Hand nimmt und nun das Kügelchen mit dem einen Ende dieser Stange berührt; es bleibt dagegen elektrisch, falls man statt der metallenen Stange eine solche aus Glas oder Harz anwendet. Wir schließen hieraus, daß die Elektricität des Pendels durch den menschlichen Körper und die metallene Stange zur Erde fortgeleitet wird, woselbst sie sich dann ausbreitet und verschwindet; daß dagegen Glas und Harz die Elektricität nicht leiten. Körper, welche sich wie die Metallstange verhalten, nennt man gute Leiter oder kurz Leiter der Elektricität, diejenigen aber, welche sich wie die Glas- oder Harzstange verhalten, Nichtleiter oder richtiger schlechte Leiter, da sie die Ausbreitung der Elektricität niemals wirklich vollständig hindern.

Die besten Leiter sind die Metalle, dann Kohle, ferner Wasser und alle wässerigen Flüssigkeiten, daher auch tierische und Pflanzenkörper im saftreichen Zustande, feuchtes Erdreich, überhaupt feuchte Körper, ferner Leinen, Baumwolle u. a. m. — Zu den schlechten Leitern gehören alle Harze, Glas*), Schwefel, Porzellan, Seide, Haare, Federn und trockene Luft**). — Zwischen guten und schlechten Leitern findet aber keine scharfe Scheidung, sondern ein allmählicher Übergang statt, welcher durch die zwischen beiden stehenden Halbleiter vermittelt wird; zu diesen gehören Horn, Knochen, Holz, Papier, Erde u. a. m. Schlechte Leiter und Halbleiter im feuchten Zustande nähern sich je nach dem größeren oder geringeren Feuchtigkeitsgehalte mehr oder weniger den guten Leitern.

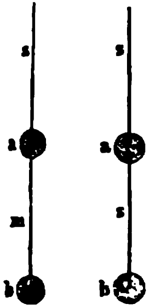
Wird einem guten Leiter Elektricität mitgeteilt, so verbreitet sich dieselbe über seine ganze Oberfläche, und wenn man ihn an einer Stelle berührt, so verliert er die Elektricität wieder in seiner ganzen Ausdehnung. — Ein schlechter Leiter empfängt oder verliert dagegen die Elektricität nur an der berührten Stelle und in der nächsten Umgebung derselben. — Überhaupt beruht die Verschiedenheit zwischen schlechten und guten Leitern auf dem größeren oder geringeren Widerstande, welchen dieselben der Verbreitung der Elektricität entgegensetzen.

---

*) Das weiße Glas bewährt sich nicht immer als schlechter Leiter; dies ist sicherer bei dem gewöhnlichen grünen Fenster- oder Flaschenglase der Fall.

**) In Hinsicht der feuchten L

Der Unterschied zwischen guten und schlechten Leitern zeigt sich insbesondere auch bei den folgenden Versuchen: Verbindet man zwei Papierscheibchen a und b (Fig. 131), von denen das (Fig. 131.) (Fig. 132.) eine a an einem schlechten Leiter, etwa einem Seidenfaden s, aufgehängt ist, durch einen guten Leiter, etwa einen Metallfaden m, und elektrisiert man nun eines dieser beiden Scheibchen durch Mitteilung, so zeigt sich auch das andere elektrisch. Berührt man ferner eines von beiden elektrisierten Scheibchen mit dem Finger, so verliert zugleich auch das andere seine Elektricität. Verbindet man dagegen beide Scheibchen durch einen schlechten Leiter, etwa einen Seidenfaden s, (Fig. 132) und elektrisiert eins derselben, so zeigt das andere keine Elektricität. Wenn man andererseits beide Scheibchen elektrisiert und dann eines derselben mit dem Finger berührt, so verliert nur dieses, nicht aber das andere seine Elektricität.



Die Verschiedenheit der guten und schlechten Leiter ist von dem Engländer Gray 1727 entdeckt worden.

§. 118, b (119). Isolierung. Aus dem Vorhergehenden erklärt sich auch die Erscheinung, daß es nicht gelingt, das Kügelchen eines elektrischen Pendels mit Elektricität zu laden, wenn man den schlecht leitenden Seidenfaden durch einen gut leitenden Faden, etwa aus Leinen oder Metall, ersetzt und das Pendel dabei in der Hand hält. Das Kügelchen wird dann von der geriebenen Siegellackstange zwar angezogen, aber nicht wieder abgestoßen, indem die mitgeteilte Elektricität sofort durch den Faden und den menschlichen Körper zur Erde abfließt. Allgemein muß ein guter Leiter, wenn derselbe elektrisiert werden soll, isoliert, d. h. ringsum von schlechten Leitern umgeben sein. Man hängt daher gute Leiter für diesen Zweck an seidenen Fäden auf oder stellt sie zur Isolierung auf Füße von Glas oder Hartgummi; um dieselben in der Hand halten zu können, versieht man sie mit isolierenden Handgriffen u. a. m. Einen schlechten Leiter darf man ohne weiteres in der Hand halten, indem jedes nicht unmittelbar berührte Teilchen durch die benachbarten isoliert ist. — Auf Grund des Vorgetragenen nennt man die schlechten Leiter auch Isolatoren. Ferner ist klar, daß, wenn die Luft zu den guten Leitern gehörte, elektrische Erscheinungen gar nicht wahrgenommen werden könnten.

Da aber auch die besten Isolatoren keine vollkommenen Nichtleiter sind, so ist es auch nicht möglich, einen elektrischen Körper so vollkommen zu isolieren, daß er seine Elektricität für alle Zeit unverändert beibehielte. Jeder elektrische Körper giebt, wenn er auch aufs sorgfältigste isoliert ist, seine Elektricität allmählich an die umgebende Luft und die ihn tragenden Isolatoren ab. Je stärker dabei die in einem Körper angehäufte Elektricität ist, um so leichter vermag sie die Leitungswiderstände zu überwinden, um so rascher verliert daher der Körper den größten Teil seiner Elektricität.

Da feste Körper an ihrer Oberfläche vermöge der Adhäsion Dämpfe aus der Luft kondensieren und zwar um so reichlicher, je feuchter dieselbe ist, so büßen die schlechten Leiter hierdurch wesentlich an ihrem Isolationsvermögen ein. Dieses ist in besonders starkem Maße beim Glase der Fall; man pflegt daher Glasfüße, welche als Isolatoren dienen sollen, mit einer solchen Substanz, welche sich weniger leicht mit kondensierten Dämpfen bekleidet, wie z. B. Schellackfirnis, zu überziehen. — Es erklärt sich hieraus auch, warum die elektrischen Versuche besser bei trockner als feuchter Witterung, im Winter besser in der Nähe des geheizten Ofens, überhaupt besser bei mäßiger Erwärmung des elektrischen Geräts gelingen. Dagegen gehören Dampf, d. h. Wassergas, und ebenso feuchte, d. h. mit Wassergas vermischte Luft, *an und für sich*, sowie die trockne Luft zu den schlechten Leitern.

§. 119 (120). **Positive und negative Elektricität.** Hat man sowohl eine Glas- als auch eine Siegellackstange beide mit einem wollenen Lappen gerieben, so läßt sich folgendes beobachten:

1) Teilt man einem an einem Seidenfaden aufgehängten Pendel mittelst der Glasstange Elektricität mit, so wird dasselbe von der Glasstange abgestoßen, dagegen von der Siegellackstange angezogen. — Hat man aber das Pendel mittelst der Siegellackstange geladen, so wird es von dieser abgestoßen, dagegen von der Glasstange angezogen.

2) Ladet man zwei Pendel zugleich mittelst der Glasstange, so stoßen sie sich gegenseitig ab. Dasselbe gilt, wenn beide mittelst der Siegellackstange geladen werden.

3) Ladet man aber das eine Pendel mittelst der Glasstange, das andere mittelst der Siegellackstange, so ziehen sie einander an.

Hätten wir statt Siegellack Hartgummi oder ein anderes Harz angewendet, so würden die Erscheinungen dieselben geblieben sein.

Aus dem Angeführten geht hervor, daß die elektrischen Zustände, in welche Glas*) und Harz durch Reiben mit Wolle versetzt werden, von verschiedener Art sind. Die Beobachtung zeigt ferner, daß ein elektrischer Körper, auf welche Weise er immer elektrisiert sein möge, sich entweder wie das Glas oder wie das Harz bei den obigen Versuchen verhält. Hiernach hat man überhaupt zwei elektrische Zustände zu unterscheiden. Zur Erklärung derselben nimmt man an, daß es zwei Arten von Elektricität giebt, von denen die eine durch Reiben mit einem wollenen Lappen im Glase, die andere im Harze hervorgerufen wird. Die erstere bezeichnet man dem zufolge wohl als Glas-, die letztere als Harzelektricität. — Für die beiden Elektricitäten gilt nach dem Obigen das Gesetz: Gleichnamige Elektricitäten stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an (vergl. §. 105, a).

Wenn man ferner ein elektrisches Pendel, welches mittelst einer kräftig geriebenen Siegellackstange geladen worden ist, einer nur schwach elektrisierten Glasstange nähert, so wird es nach einer Berührung mit der Glasstange von dieser nicht mehr so lebhaft angezogen wie vorher, und es geht nach wiederholter Berührung die Anziehung schließlich in Abstoßung über. Es wird also die Elektricität, welche das Pendel von der Siegellackstange erhalten hatte, durch diejenige, welche ihm die Glasstange mitteilt, ganz unwirksam gemacht. — Allgemein zeigt sich: Wenn gleiche Mengen beider Elektricitäten dem nämlichen Körper zugeführt werden, so heben sich dieselben in ihrer Wirkung nach außen gegenseitig auf. — Infolge dieses Gegensatzes bezeichnet man für gewöhnlich die Glaselektricität als positive, die Harzelektricität als negative.

Die entgegengesetzten Elektricitäten sind von dem Franzosen du Fay 1733 entdeckt worden; von ihm stammt die Bezeichnung Glas- und Harzelektricität. Die jetzt allgemein gebräuchliche Benennung als positive und negative Elektricität rührt von Franklin (1747) her.

§. 120 (131). **Elektroskop.** Behufs Prüfung des elektrischen Zustandes eines Körpers hat man besondere Apparate hergestellt, welche Elektroskope heißen. Gestatten dieselben auch noch die Stärke des elektrischen Zustandes zu messen, so werden sie Elektrometer genannt.

Als ein sehr einfaches Elektroskop [illegible] lang schon benutzte elektrische Pendel dienen. Wird ein solches etwa [illegible] benen Glasstange positiv

*) Poliertes Glas, nicht mattgesch[illegible]

oder mittelst einer geriebenen Harzstange negativ geladen und dann von einem angenäherten Körper abgestoßen, so muß dieser zufolge des vorig. §. im ersteren Falle positive, im letzteren negative Elektricität besitzen. Sind der Körper und das Pendel entgegengesetzt elektrisch, so erfolgt Anziehung; doch kann nur die Abstoßung einen sicheren Beweis geben, da eine Anziehung auch zwischen dem elektrisierten Pendel und einem unelektrischen Körper stattfindet. (Vergl. auch §. 105, a.)

Hängt man zwei elektrische Pendel in dem nämlichen Punkte auf, so entsteht das elektrische Doppelpendel (Fig. 133), dessen Kugeln sich im unelektrischen Zustande berühren, dagegen einander abstoßen, wenn sie gleichnamig elektrisch sind. Hat man den Kugeln eine positive Ladung gegeben und führt man ihnen dann von neuem positive Elektricität zu, so entfernen sie sich noch weiter von einander; teilt man aber den positiv geladenen Kugeln negative Elektricität mit, so nähern sie sich wieder und zwar bei genügender Zufuhr von negativer Elektricität bis zur Berührung, um dann abermals, jetzt aber mit negativer Elektricität auseinander zu gehen. Hierauf gründet sich das sehr empfindliche Goldblattelektroskop (Fig. 134). Bei demselben sind zwei feine Streifen aa aus Goldblatt zur Abhaltung des Luftzuges innerhalb eines Glasgefäßes an ein Metallstäbchen angehängt, welches behufs guter Isolierung mit Siegellack oder Hartgummi in den Hals des Glases eingekittet ist und oben außerhalb des Gefäßes in einen Kopf b endigt. — Statt der Goldblättchen verwendet man neuerdings auch mit besonders gutem Erfolge leicht beweglich aufgehängte Streifen aus Aluminiumblech oder Seidenpapier.

(Fig. 133.)



(Fig. 134.)



Berührt man den Knopf eines solchen Blattelektroskops mit einem nur schwach elektrisierten Körper, so gehen die Blättchen schon aus einander, indem sie mit der Elektricität des Körpers geladen werden. Zur Prüfung der letzteren legt man sodann eine nur mäßig geriebene Glas- oder Harzstange an den Knopf; nimmt dabei der Ausschlag der Blättchen zu, so hat das Elektroskop die nämliche Elektricität wie die Stange, dagegen, wenn der Ausschlag sich vermindert, die entgegengesetzte. — Übrigens beobachtet man, daß die Blättchen des Elektroskops schon dann auseinandergehen, wenn man einen nicht allzu schwach elektrisierten Körper bloß in die Nähe des Knopfes bringt; sie fallen jedoch wieder zusammen, wenn der Körper, ohne dem Knopfe sehr nahe gekommen zu sein, wieder entfernt wird. Auch zeigt sich, daß man bei einer Prüfung dem geladenen Elektroskop die geriebene Glas- oder Harzstange nur zu nähern braucht, indem dabei schon der Ausschlag der Blättchen zu- oder abnimmt, je nachdem die Stange und das Elektroskop gleichnamig oder ungleichnamig elektrisch sind. Über die Erklärung dieser schon vorläufig angeführten Erscheinungen siehe §. 125, a und b.

Wegen seiner großen Empfindlichkeit darf dem Blattelektroskop nur eine schwache Ladung erteilt werden. Um von einem stark elektrisierten Körper geringe Elektricitätsmengen auf dasselbe zu übertragen, benutzt man kleine metallene an isolie...

Handgriffen befestigte Probescheibchen oder -kügelchen, indem man mit diesen zunächst den elektrischen Körper und dann den Knopf des Elektroskops berührt.

Der Ausschlag der Blättchen wächst mit der Stärke der Ladung, doch in geringerem Maße; immerhin kann man aber aus der Größe der Ausschläge einen ungefähren Schluß auf die verhältnismäßige Stärke der Ladungen machen. Manche Elektroskope werden zur Abmessung der Ausschläge mit einem Gradbogen versehen und dann auch als Elektrometer bezeichnet.

Über das Henley'sche Quadrantenelektrometer siehe §. 122, Anm.

Zu wirklichen Messungen eignet sich die im §. 124 beschriebene Drehwage, nach deren Princip man sehr genaue Elektrometer hergestellt hat.

Das Blattelektroskop ist zuerst von Bennet (1787) angegeben.

§. 121 (132). **Gleichzeitige Erregung beider Elektricitäten.** Auch die guten Leiter lassen sich durch Reiben elektrisch machen, falls sie dabei nur gehörig isoliert sind. Befestigt man z. B. ein Stück zusammengeknittertes Stanniol (dünngewalztes Zinn) mittelst eines Fadens an einem isolierenden Glas- oder Harzstabe und reibt nun das Stanniol und eine Glasstange an einander, so zeigt eine Prüfung, daß das Stanniol negativ elektrisch geworden ist. Andererseits erweist sich dabei die geriebene Glasstange als positiv elektrisch. Allgemein ergeben Untersuchungen mit empfindlichen Elektroskopen, daß stets, wenn zwei verschiedene Körper an einander gerieben werden, auf dem einen positive, auf dem anderen negative Elektricität sich entwickelt. So wird beim Reiben einer Glasstange mit Wolle nicht nur das Glas positiv, sondern auch die Wolle negativ elektrisch; desgleichen entsteht beim Reiben einer Harzstange mit Wolle neben der negativen Elektricität auf dem Harz, auch positive auf der Wolle. Wir ersehen hieraus zugleich, daß ein und derselbe Körper, die Wolle, je nach dem Körper, mit welchem er gerieben wird, bald positive, bald negative Elektricität erhalten kann.

Auf Grund solcher Erscheinungen stellen wir die folgenden Sätze auf:

1) Jeder Körper besitzt beide Elektricitäten.

2) In einem unelektrischen Körper, d. h. in einem Körper, welcher keine elektrischen Erscheinungen zeigt, halten sich beide entgegengesetzten Elektricitäten das Gleichgewicht, so nämlich, daß, was die eine anzieht, die andere ebenso stark abstößt. Man sagt daher: In einem unelektrischen Körper binden sich die entgegengesetzten Elektricitäten gegenseitig.

3) In einem positiv elektrischen Körper hat die positive, in einem negativ elektrischen Körper die negative Elektricität das Übergewicht. Man nennt den Überschuß der einen Elektricität über die andere zum Unterschiede von der gebundenen freie Elektricität.

Die Elektricitätserregung durch Reiben kann man sich hiernach so denken, daß dabei positive Elektricität des einen Körpers und negative des anderen sich mit einander vereinigen und ausgleichen, wodurch dann auf dem ersteren eine gleiche Menge an negativer, auf dem letzteren an positiver Elektricität frei wird.

Auch beim Aneinanderreiben zweier Körper, welche aus dem nämlichen Stoff bestehen, findet eine Elektricitätserregung statt, falls die Kör[illegible]r Weise hinsichtlich ihrer Oberflächenbeschaffenheit verschieden sind. So wird [illegible] und eine mattgeschliffene Glasscheibe aneinanderreibt, die erstere [illegible]

Welcher von zwei Körpern beim Reiben positive, welcher negative Elektricität erhält, darüber läßt sich keine allgemein gültige Regel aufstellen, weil schon eine geringe Verschiedenheit der Oberfläche ein anderes Verhalten bewirken kann. Reibt man von den nachstehend angegebenen Körpern zwei aneinander, so wird im allgemeinen der vorangehende positiv, der nachfolgende negativ elektrisch: + Katzenfell, poliertes Glas, Wolle, Siegellack, mattgeschliffenes Glas, Seide, Schwefel —.

Die oben dargelegte Ansicht von zwei Elektricitäten, die man sich als sehr feine, der Schwere nicht unterworfene Flüssigkeiten denkt, giebt uns übrigens keinen Aufschluß über das eigentliche Wesen der Elektricität; vielmehr läßt sich mit Bestimmtheit annehmen, daß letztere kein Stoff sein kann, da hiermit die Thatsache im Widerspruch steht, daß man aus dem nämlichen Körper Elektricität in unbegrenzter Menge zu entwickeln vermag. Indem die obige Ansicht nur zum Ausdruck bringen soll, daß die elektrischen Erscheinungen so verlaufen, als ob solche Flüssigkeiten vorhanden wären, ist sie lediglich eine Hülfsvorstellung, welche uns gestattet, die elektrischen Erscheinungen von einem einheitlichen Gesichtspunkte aus übersichtlich zusammenzufassen (s. auch § 2). — Nach neueren Forschungen scheinen sich die elektrischen und desgleichen auch die magnetischen Erscheinungen, ebenso wie Licht und Wärme auf Schwingungen zurückführen zu lassen, die, wie man annimmt, von einem feinen, sämtliche Körper und den ganzen Weltraum durchdringenden Stoff, dem sogenannten Äther, ausgeführt werden. — Die Ansicht von zwei elektrischen Flüssigkeiten ist zuerst von Symmer (1759) aufgestellt worden.

§. 122 (121). **Reibungselektrisiermaschine.** Zur Erzeugung größerer Elektricitätsmengen und starker elektrischer Ladungen dienen die Elektrisiermaschinen.

(Fig. 135.)



Die Reibungselektrisiermaschine (Fig. 135) besteht im wesentlichen aus dem Reiber, dem Reibzeuge und dem Konduktor (Ansammler). Der Reiber ist ein sch[…]

Leiter, gewöhnlich eine Scheibe von Glas, welche mittelst einer Kurbel um eine Achse gedreht werden kann. Das Reibzeug R besteht dann aus ledernen Kissen, welche an der Seite, wo sich die Glasscheibe an ihnen reibt, mit Amalgam (§. 117) bestrichen sind. Der Konduktor K, welcher zur Ansammlung der entwickelten Elektricität dient, ist ein metallischer Leiter, der behufs Isolierung auf einer gläsernen Säule ruht. An demselben ist gegen den Reiber hin ein sogenannter Einsauger e angebracht. Dieser besteht gewöhnlich aus zwei einander gegenüberstehenden hölzernen Ringen, welche an ihrer inneren Seite, wo die Glasscheibe zwischen ihnen hindurch geht, mit zahlreichen feinen metallenen Spitzen versehen sind, die durch ebenfalls metallene Streifen mit dem Konduktor in leitender Verbindung stehen. Durch diese Spitzen strömt die Elektricität des Reibers auf den Konduktor über. (Näheres s. §. 125, b.)

Bei einer Drehung der Glasscheibe wird diese und infolgedessen auch der Konduktor positiv elektrisch, wie man mittelst eines Elektroskops leicht nachweisen kann.

Bei den meisten Maschinen ist das Reibzeug ebenfalls isoliert und mit einem besonderen Konduktor K' versehen. Man kann sich dann leicht überzeugen, daß bei der Umdrehung des Reibers das Reibzeug und der Konduktor desselben negative Elektricität erhalten. — Will man kräftige positive Elektricität in dem Konduktor des Reibers ansammeln, so muß das Reibzeug oder der Konduktor desselben mit der Erde leitend verbunden werden, um die negative Elektricität abzuleiten. Dasselbe gilt von dem Konduktor des Reibers, wenn man die negative Elektricität des Reibzeugs ansammeln will.

An die ledernen Kissen, welche als Reibzeug dienen, sind noch zwei Flügel w aus Wachstaffet befestigt, welche sich dicht an die Scheibe anlegen und verhindern, daß sich die Elektricität des Reibers in die Luft ausbreite, bevor sie durch die Spitzen des Einsaugers auf den Konduktor überströmt. — Behufs guter Isolierung besteht ferner die Achse, um welche sich die Glasscheibe drehen läßt, gewöhnlich ebenfalls aus einem schlechten Leiter, Glas oder Hartgummi.

Durch die Elektrisiermaschine werden wir in den Stand gesetzt, die bislang aufgefundenen Gesetze durch in größerem Maßstabe angestellte Versuche zu bestätigen. Wir führen insbesondere das Folgende an:

1) Nach einigen Umdrehungen des Reibers lassen sich demselben an verschiedenen Stellen nach einander Funken entziehen, da er als ein schlechter Leiter jedesmal nur an der einzelnen Stelle Elektricität verliert; dagegen giebt der Konduktor als ein guter Leiter in einem Funken seine ganze Elektricität auf einmal ab. Man erhält daher auch von dem Konduktor bei weitem längere und kräftigere Funken. — Man hat Maschinen hergestellt, welche (bei einem Scheibendurchmesser von 1 m) Funken von mehr als 50 cm Länge geben.

2) Stellt man dem Konduktor eine kleine auf isolierendem Fuße befestigte Metallkugel (Funkenzieher) gegenüber, welche durch einen Draht mit der Erde leitend verbunden ist, so sieht man, falls der Draht an einer oder mehreren Stellen kurze Unterbrechungen hat, jedesmal beim Überschlagen eines Funkens zwischen dem Konduktor und der Kugel an den Unterbrechungsstellen gleichfalls Funken, indem eben die Elektricität durch die Drahtleitung zur Erde abströmt.

3) Setzt man auf den Konduktor einen metallenen Ständer, von welchem zahlreiche lange und feine Papierstreifen herabhängen, so werden letztere bei Drehung des Reibers infolge gegenseitiger Abstoßung auseinander getrieben.

4) Wird ein elektrisches Pendel, bestehend aus einer kleinen an einem Seidenfaden befestigten Metallkugel, zwischen zwei metallenen Glocken aufgehängt und dann die eine Glocke mit dem Konduktor einer thätigen Maschine, die andere mit der Erde leitend verbunden, so gerät das Pendel in lebhafte Schwingungen, wobei es abwechsel[illegible] und an die andere Glocke schlägt (elektrisches Glockenspiel); indem nämlich [illegible] von der mit dem Konduktor verbundenen Glocke angezogen, nach der Berühru[illegible]iebt es die bei der Berührung empfangene

Elektricität an die andere mit der Erde in Verbindung gesetzte Glocke wieder ab, wird dann von der ersteren aufs neue angezogen u. s. w.

5) Ebenso erklärt sich der folgende Versuch: Ein Glasgefäß mit metallenem Boden und Deckel enthalte einige Holundermarkkügelchen; wird dann der Deckel mit dem Konduktor, der Boden mit der Erde leitend verbunden, so bewegen sich die Kügelchen rasch auf und nieder.

6) Stellt sich ein Mensch auf eine isolierende Unterlage, etwa eine Hartgummiplatte, — gewöhnlich dient hierzu ein sogenannter Isolierstuhl, welcher aus einem Brette besteht, das auf gläsernen Füßen ruht — und wird er dann mit dem Konduktor in leitende Verbindung gebracht, so kann man demselben, ebenso wie dem Konduktor, Funken entziehen. Man bemerkt zugleich, daß die Haare des Kopfes sich emporsträuben.

Um die Stärke der Ladung des Konduktors einigermaßen abzumessen, dient das Quadranten-Elektrometer von Henley (Fig. 136). Dieses besteht aus einem elektrischen Pendel, welches an einem auf dem Konduktor befestigten Stäbchen aufgehängt und mit einem eingeteilten Halbkreise zur Abmessung des Ausschlages versehen ist.

(Fig. 136.)



Die erste Elektrisiermaschine hat Otto von Guerike, der Erfinder der Luftpumpe, 1650 hergestellt. Seine Maschine enthielt aber von den drei wesentlichen Bestandteilen einer vollkommenen Elektrisiermaschine: Reiber, Reibzeug und Konduktor, nur die beiden ersteren, den Reiber, welcher aus einer Schwefelkugel bestand, und das Reibzeug, welches durch die aufgelegte Hand gebildet wurde. — Die ersten mit einem Konduktor versehenen Elektrisiermaschinen sind zuerst ums Jahr 1744 von verschiedenen deutschen Physikern, wie Hausen und Winkler, angefertigt worden.

Wir erwähnen noch kurz die Hydroëlektrisiermaschine, bei welcher Wasser in einem metallenen Kessel bis zum Sieden erhitzt und die Elektricität durch Reiben des ausströmenden Dampfes an den Ausflußröhren erzeugt wird. — Über die Influenzelektrisiermaschine siehe §. 127.

§. 123 (126). **Ausbreitung der Elektricität auf einem Leiter.** Stülpt man über ein Elektroskop, welches auf eine isolierte Metallplatte gestellt ist, eine Drahtglocke, und teilt dann der letzteren Elektricität mit, so zeigt das Elektroskop, auch wenn es mit der Glocke leitend verbunden ist, doch keine Spur von Elektricität an, wie stark man immer die Drahtglocke elektrisieren mag. Hieraus schließen wir, was auch andere Versuche bestätigen: Bei guten Leitern befindet sich die Elektricität im Zustande der Ruhe nur an der Oberfläche. Es erklärt sich dies daraus, daß gleichnamige Elektricitäten einander abstoßen. Indem nämlich die Elektricitätsteilchen auf dem guten Leiter sich gegenseitig zu fliehen suchen, werden sie bis an die Oberfläche vordringen, wo sie dann durch den Widerstand der Luft und der anderen den Leiter umgebenden Isolatoren zurückgehalten werden.

Aus dem Gesagten geht ferner auch hervor, daß die Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche eines Konduktors, d. i. eines isolierten Leiters, wesentlich von der Gestalt desselben abhängig sein muß. Wir stellen hierüber folgende Sätze auf, welche in der Erfahrung durchweg ihre Bestätigung finden: — Bei einem kugelförmigen Konduktor breitet sich die Elektricität über die ganze Oberfläche gleichförmig aus; auf einem länglichen häuft sie sich dagegen mehr an den Enden als in der Mitte an. Allgemein ist auf einem Konduktor die Elektricitätsmenge an einer Oberflächenstelle um so größer, je mehr diese Stelle aus dem Körper hervorragt oder gekrümmt ist; so ist z. B. bei einem Würfel die Anhäufung stärker an den K

als auf den Flächen, noch stärker an den Ecken. **Am stärksten häuft sich die Elektricität in Spitzen an.**

Das Bestreben der Elektricität, sich von der Oberfläche des Konduktors nach außen zu entfernen, bezeichnet man als **elektrische Spannung.** Dieselbe wächst mit der angehäuften Elektricitätsmenge; sie ist also am größten in den Spitzen. Hieraus erklärt sich die Erscheinung, daß **die Elektricität durch Spitzen besonders leicht in die umgebende Luft ausströmt.**

Die Elektricitätsmenge, welche auf einer Flächeneinheit vorhanden ist, wird **elektrische Dichte** genannt. Bei einer Kugel ist die Dichte infolge der gleichmäßigen Anordnung der Elektricität an jeder Stelle der Oberfläche dieselbe; sie ist gleich dem Verhältnis der auf der Kugel überhaupt vorhandenen Elektricitätsmenge zur ganzen Oberfläche, also der letzteren umgekehrt proportional. Bei einem anders gestalteten Körper giebt das Verhältnis der Elektricitätsmenge zur Oberfläche nur einen mittleren Wert für die Dichte, welche an verschiedenen Stellen sehr ungleich sein kann. Von der Dichte an einer bestimmten Stelle erlangt man eine Vorstellung, wenn man daselbst nur ein sehr kleines Flächenstück ins Auge faßt. **Bei unveränderter Stärke der Ladung ist die elektrische Dichte und Spannung an einer Stelle um so größer, je stärker daselbst die Oberfläche gekrümmt ist.** An jeder einzelnen Oberflächenstelle wächst ferner die Dichte und Spannung in gleichem Verhältnis mit der Stärke der Ladung.

Nach dem Obigen müssen bei einem Konduktor, der seine Elektricität behalten soll, Spitzen sorgfältig vermieden werden; etwaige Kanten und Ecken sind abzurunden; überhaupt muß der Konduktor eine möglichst platte und reine Oberfläche haben. Dagegen ist es gleichgiltig, ob der Konduktor hohl oder massiv ist eine metallene Vollkugel und eine gleich große mit Stanniol überzogene Holzkugel bieten ganz dieselben elektrischen Erscheinungen dar.

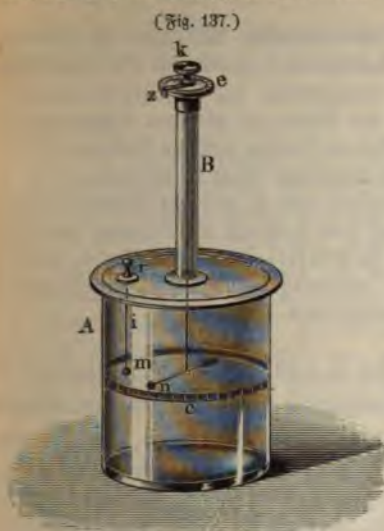
Versuche über die Anordnung der Elektricität lassen sich auf die Weise anstellen, daß man vermittelst einer Probekugel (§. 120) Elektricität von verschiedenen Stellen des geladenen Konduktors auf ein Elektroskop überträgt und jedesmal den eintretenden Ausschlag beobachtet.

Über das Ausströmen aus Spitzen führen wir die folgenden Versuche an: — Bringt man an dem Konduktor einer Elektrisiermaschine eine feine metallene Spitze (etwa eine Nähnadel) an, so liefert derselbe nur noch sehr schwache oder selbst gar keine Funken mehr. — Hält man vor die wagerecht gestellte Spitze eine brennende Kerze, so wird die Flamme derselben bei Umdrehung des Reibers abgelenkt, woraus folgt, daß von der die Elektricität ausströmenden Spitze ein Luftzug (**elektrischer Wind**) ausgeht. Derselbe erklärt sich dadurch, daß die Luft- und Staubteilchen in unmittelbarer Umgebung der stark geladenen Spitze zunächst durch Mitteilung elektrisiert und dann abgestoßen werden. — Im Dunkeln zeigt sich ein von der Spitze ausgehender Strahlenbüschel (s. §. 133).

§. 124 (126). **Gesetz der elektrischen Fernwirkung.** Mit der Entfernung nimmt die elektrische Anziehung und Abstoßung rasch ab. Es gilt in dieser Hinsicht das Gesetz: **Die Wirkung eines elektrischen Körpers steht im umgekehrten Verhältnis zu dem Quadrate der Entfernung.** Sie sinkt also z. B. in der 2- oder 3fachen Entfernung auf den (Vergl. auch §. 105, b.) — Derjenige Raum, innerhalb dessen überhaupt eine bemerkbare Wirkung ausübt, wird das el nnt.

Das angeführte Gesetz ist von **Coulomb** (1787) zuerst aufgestellt und vermittelst seiner elektrischen Drehwage (Fig. 137) nachgewiesen worden. Diese besteht aus einem weiten gläsernen Cylinder A, dessen oberer Boden durchbohrt ist und hier einen engeren Cylinder B trägt. Innerhalb dieser beiden Cylinder ist ein feiner Metallfaden aufgehängt, welcher mit seinem oberen Ende an einem drehbaren Knopfe k befestigt ist. Zur Abmessung der Drehung dieses Knopfes dient ein mit demselben fest verbundener Zeiger z, welcher sich bei einer Drehung über einer in Grade eingeteilten Scheibe e fortbewegt. An dem unteren Ende des Metallfadens ist eine wagerecht schwebende dünne Schellacknadel angebracht, welche an dem einen Ende ein kleines Korkkügelchen n trägt und innerhalb eines in Grade geteilten Kreises c spielt. Befindet sich der Zeiger oben am Knopfe k genau über dem Nullpunkte der eingeteilten Scheibe e, so steht auch unten das Kügelchen n genau der Null des eingeteilten Kreises c gegenüber; wird aber oben der Knopf um eine gewisse Zahl von Graden gedreht, so durchläuft auch die Schellacknadel ebensoviele Grade am untern Kreise. — Seitwärts ist ferner in dem Deckel des größern Cylinders bei r eine Öffnung angebracht, durch welche ein an einem Schellackstabe i befestigtes Korkkügelchen m so eingesenkt werden kann, daß es genau der Null des eingeteilten Kreises gegenübersteht.

(Fig. 137.)



Coulomb machte nun mit der Drehwage folgenden Versuch: Er stellte zunächst oben den Zeiger z und damit auch das Kügelchen n genau auf Null ein; sodann teilte er dem Kügelchen m Elektricität mit und senkte es durch die Öffnung r ein, wo es nach der Berührung das Kügelchen n gleichnamig elektrisierte und um einen Winkel von 36° forttrieb. Hierauf drehte Coulomb den Knopf k gegen die Ordnung der Zahlen so lange, bis der Ablenkungswinkel nur noch 18° betrug. Hierzu war eine Drehung des Knopfes von 126° erforderlich. Bei dem ersten Versuche standen die Kugeln n und m um 36°, beim zweiten 18° voneinander ab; die beiden Abstände verhielten sich also wie 2 : 1. Bei dem ersten Versuche betrug die Torsion des Drahtes, welcher die Schellacknadel trug, 36°, bei dem zweiten $18^0 + 126^0 = 144^0$. Die abstoßenden Kräfte verhielten sich daher (zufolge §. 12, Anm.) wie $36^0 : 144^0 = 1 : 4$, also umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. — Die wahren Abstände der Kugeln werden übrigens genau genommen nicht durch die Bogen selbst, sondern durch die zugehörigen Sehnen gemessen; bei der geringen Größe der Bogen lassen sich dieselben jedoch ohne erheblichen Fehler mit den Sehnen verwechseln.

Mit Hülfe der Drehwage hat Coulomb ferner noch das Gesetz nachgewiesen:

Bei unveränderter Entfernung ist die Kraft, mit welcher zwei elektrische Körper auf einander einwirken, dem Produkte ihrer Elektricitätsmengen proportional.

Coulomb ging dabei von der natürlichen Annahme aus, daß eine elektrisierte leitende Kugel die Hälfte ihrer Elektricität abgiebt, wenn man sie mit einer gleich großen unelektrischen berührt. Als er nun die beiden Kugeln der Drehwage gleichnamig elektrisierte und dann der einen auf die angegebene Weise die Hälfte ihrer Elektricität nahm, fand er, daß sich die Kugeln im zweiten Falle bei der gleichen Entfernung nur noch mit der halben Kraft abstießen.

Nimmt man diejenige Elektricitätsmenge = 1, welche eine gleich große Menge derselben Art in dem Abstande 1 mit der Kraft 1 abstößt, so erhält man nach dem Obigen für die Kraft f, mit welcher die Mengen e und e′ im Abstande r auf einander wirken, den Ausdruck

$$f = \frac{ee'}{r^2}.$$

Dieser wird, wenn man die positive und negative Elektricität durch die Vorzeichen + und — von einander unterscheidet, bei gleichnamigen Elektricitäten, also bei Abstoßung, positiv, bei ungleichnamigen, also bei Anziehung, negativ.

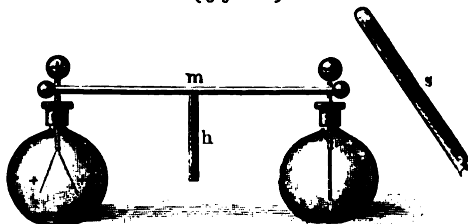
Im absoluten Maßsystem (§. 36, Anm.), nach welchem elektrische Messungen jetzt gewöhnlich ausgeführt werden, ist insbesondere diejenige Elektricitätsmenge = 1, welche eine ihr gleiche Menge derselben Art in der Entfernung 1 cm mit der Kraft 1 Dyn abstößt.

Nehmen wir inbetreff des elektrischen Feldes eines mit Elektricität geladenen Körpers mal an, daß es gut leitend sei und daß sich an einer Stelle desselben ein Teilchen positiver Elektricität befinde; letzteres wird dann durch die von dem elektrischen Körper ausgehende Kraft in Bewegung gesetzt, bei positiver Ladung desselben abgestoßen, bei negativer angezogen, und es wird das Elektricitätsteilchen so eine Linie beschreiben, welche in jedem Punkte durch ihre Tangente die Richtung der daselbst wirksamen Kraft angiebt. Solche Linien heißen elektrische Kraftlinien (vergl. §. 105, b, Anm.). Bei einer mit Elektricität geladenen Kugel fallen diese zusammen mit den vom Mittelpunkte der Kugel nach den verschiedenen Richtungen des Raumes ausgehenden Strahlen.

§. 125, a. Elektrische Verteilung. In §. 120 wurde schon vorläufig die Erscheinung angegeben, daß sich bei bloßer Annäherung eines elektrisierten Körpers an den Knopf eines Blattelektroskops in diesem ein Ausschlag zeigt, welcher aber, falls der Körper nicht allzu nahe gebracht wird, nach Entfernung desselben wieder verschwindet. Diese Erscheinung können wir uns nun nach §. 121 so erklären, daß die freie Elektricität des angenäherten Körpers in dem Elektroskop das elektrische Gleichgewicht aufhebt, indem sie ungleichnamige Elektricität in den Knopf hineinzieht, gleichnamige in die Blättchen abstößt, welche infolgedessen auseinander gehen, daß aber die getrennten Elektricitäten sich nach Entfernung des elektrischen Körpers wieder vereinigen.

Die Richtigkeit der gegebenen Erklärung zeigt der folgende Versuch: — Die Knöpfe zweier Elektroskope werden, wie Fig. 138 darstellt, durch einen Metallstab m, der mit einem isolierenden Handgriff h versehen ist, leitend verbunden. Hält man nun in die Nähe des einen Knopfes eine geriebene Glasstange s, so gehen die Blättchen in dem anderen Elektroskop alsbald auseinander; entfernt man dann weiter zunächst den verbindenden Metallstab m und darauf auch die Glasstange s, so nimmt man jetzt ebenfalls in dem näheren Elektroskop einen Ausschlag wahr, und zwar ergiebt eine Prüfung in Übereinstimmung mit dem oben Gesagten für dasjenige, welchem die positiv elektrische Glasstange genähert würde, negative, für das entferntere positive Elektricität. Der Umstand, daß vor Entfernung der Glasstange in dem näheren Elektroskop kein Ausschlag zu bemerken ist, erklärt sich dadurch, daß die negative Elektricität in den dem Glasstabe s zunächst gelegenen Knopf gezogen und dort gebunden wird; nach Entfernung der Glasstange verbreitet sich aber die dann frei gewordene Elektricität des Knopfes auch über die Blättchen und treibt dieselben auseinander. — Allgemein gilt das Gesetz:

(Fig. 138.)



Ein elektrischer Körper hebt [in] einer Nähe befindlichen Leiter das elektrische Gleichge[wicht] ... ne freie Elektricität

ungleichnamige Elektricität anzieht und ebensoviel gleichnamige abstößt. (Vergl. auch §. 106.)

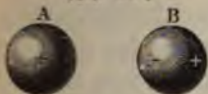
Man nennt diesen Vorgang elektrische Verteilung oder Influenz. Da die elektrische Wirkung mit der Entfernung abnimmt, so ist die Menge der getrennten Influenzelektricitäten um so größer, je näher der Leiter dem elektrischen Körper gebracht wird.

Auch bei schlechten Leitern treten Influenzerscheinungen auf, doch in viel geringerem Maße und nicht augenblicklich, sondern erst allmählich nach längerer Einwirkung. Genaue Untersuchungen haben zu der Vorstellung geführt, daß bei einem schlechten Leiter zunächst nur die Elektricitäten innerhalb der Moleküle getrennt werden, ohne daß Elektricität von einem Molekül zum anderen überfließt. Man nennt diese Erscheinung, bei welcher die innere Zusammensetzung des schlechten Leiters derjenigen eines Magnetes (§. 108) ähnlich ist, dielektrische Polarisation und die schlechten Leiter deswegen auch dielektrische Körper. Erst bei längerer Einwirkung findet auch ein allmählicher Übergang der Elektricität von einem Molekül zum anderen statt.

Die elektrische Influenz ist zuerst (1753—59) durch den Engländer Kanton, den Schweden Wilcke und den Deutschen Äpinus ermittelt worden.

§. 125, b (128). **Erklärung einiger Erscheinungen, welche auf elektrischer Verteilung beruhen.** 1) Bringen wir in die Nähe einer positiv geladenen Metallkugel A (Fig. 139) eine zweite unelektrische B, so findet zufolge des vorig. §. in der letzteren durch Influenz eine Trennung entgegengesetzter Elektricitäten statt, indem negative angezogen, positive abgestoßen wird. Da sich nun die angezogene negative Elektricität auf der der Kugel A zugewendeten Seite von B, die abgestoßene positive Elektricität dagegen auf der abgewendeten Seite ansammelt, die elektrische Wirkung aber mit der Entfernung abnimmt, so überwiegt offenbar die Anziehung die Abstoßung. Hiernach erklärt sich die Erscheinung, daß leicht bewegliche unelektrische Körper von einem elektrischen angezogen werden, als eine Folge von Influenz; man erkennt, daß allgemein jede elektrische Anziehung eine solche zwischen entgegengesetzten Elektricitäten ist.

(Fig. 139.)



Wird die Kugel B mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt, so entweicht die abgestoßene positive Elektricität durch die Leitung zur Erde, und es bleibt allein die angezogene negative zurück, sodaß nun, wo eine Abstoßung überhaupt nicht mehr vorhanden ist, die Anziehung noch stärker ausfallen muß als vorher. Hierauf beruht es z. B., daß Holundermarkkügelchen von einem elektrisierten Körper viel lebhafter angezogen werden, wenn man sie auf eine mit der Erde in Verbindung gesetzte Metallplatte legt.

2) Mit der Annäherung der Kugel B an die Kugel A nimmt die Anziehung der entgegengesetzten Elektricitäten, mit anderen Worten die Spannung zwischen A und B immer mehr zu, bis dieselbe schließlich den Widerstand der trennenden Luftschicht zu überwinden vermag. In diesem Augenblick vereinigt sich ein Teil der positiven Elektricität von A mit der angezogenen negativen Elektricität von B in einem die Luft durchbohrenden Funken. Hierbei muß in B offenbar ebensoviel positive Elektricität frei werden, als A verloren hat, wonach es gerade das Ansehen hat, als ob B von A positive Elektricität empfangen hätte. — Wie bei diesem Versuche, so entsteht überhaupt der elektrische Funke, allgemein jede elektrische Lichtersch-

durch die Vereinigung entgegengesetzter Elektricitäten, welche sich dabei gegenseitig aufheben. Wenn wir trotzdem der Kürze wegen auch später noch von einer Mitteilung der Elektricität und von dem Übergange der freien Elektricität eines geladenen Körpers auf einen anderen sprechen, so soll durch diese dem scheinbaren Hergange entnommene Redeweise nicht der wirkliche Verlauf der Erscheinung bezeichnet sein.

3) Aus dem Vorstehenden erklärt sich auch die sogenannte Saugwirkung von Spitzen, wie solche z. B. bei dem Einsaugen am Konduktor einer Elektrisiermaschine zur Geltung kommt. Indem nämlich die auf der Glasscheibe erzeugte positive Elektricität zunächst verteilend auf den Konduktor einwirkt, häuft sich die angezogene negative Influenzelektricität in den Spitzen des Einsaugers (nach §. 123) bald so stark an, daß sie zum Ausströmen kommt und sich mit der positiven Elektricität der Glasscheibe vereinigt, wodurch dann positive Elektricität auf dem Konduktor frei wird. Während es also den Anschein hat, als ob die Spitzen positive Elektricität einsaugten und dem Konduktor zuführten, ladet sich dieser in Wirklichkeit dadurch, daß ihm negative Elektricität entzogen wird.

Die nämliche saugende Wirkung wie eine Spitze, aber noch in erheblich stärkerem Maße zeigt eine Flamme infolge der von ihr aufsteigenden Ströme leitender Dämpfe, welche gleichsam eine große Schar äußerst feiner Spitzen darstellt. Ähnliches gilt von einer Rauchsäule.

4) Zufolge des im vorig. §. durch Fig. 138 dargestellten Versuches vermag man einen isolierten Leiter durch Influenzwirkung von seiten eines elektrisierten Körpers elektrisch zu machen, wobei die Stärke der Ladung mit der Annäherung des elektrisierten Körpers zunimmt. Man benutzt ein solches Verfahren gewöhnlich zum Laden der sehr empfindlichen Blattelektroskope. Zu dem Zweck nähert man dem Knopfe des Elektroskops, während man denselben ableitend mit dem Finger berührt, eine geriebene Glas- oder Harzstange. Dabei entweicht dann die abgestoßene gleichnamige Influenzelektricität durch den Finger in die Erde. Entfernt man nun zuerst den Finger und hierauf auch den elektrisierten Körper, so gehen die Blättchen mit der entgegengesetzten Elektricität auseinander, also bei Anwendung einer geriebenen Glasstange mit negativer, bei Anwendung einer geriebenen Harzstange mit positiver Elektricität.

5) Ferner erklärt es sich nun auch, daß der Ausschlag der Blättchen in einem geladenen Elektroskop zu- oder abnimmt, wenn man dem Knopfe einen gleichnamig oder ungleichnamig elektrisierten Körper nähert. Beidemal geht nämlich in die Blättchen die abgestoßene Elektricität über, welche im ersteren Falle der Ladung derselben gleichnamig, im letzteren aber entgegengesetzt ist.

Bei Annäherung eines ungleichnamig und genügend stark elektrisierten Körpers fallen die Blättchen zunächst wieder vollständig zusammen, gehen dann aber von neuem auseinander, indem die abgestoßene Influenzelektricität schließlich über die ursprüngliche Ladung der Blättchen das Übergewicht erlangt. — Ganz ähnlich erklärt sich auch die Erscheinung, daß ein stark elektrisierter Körper auf einen gleichnamig, aber nur schwach elektrisierten Leiter bei großer Nähe nicht abstoßend, sondern anziehend wirkt, indem der erstere ungleichnamige Elektricität in die ihm zugewendete Seite des letzteren hineinzieht.

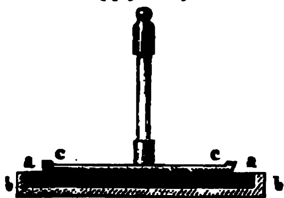
Hinsichtlich der Saugwirkung von Spitzen geben wir noch die folgenden Versuche an: — Nähert man dem Konduktor einer Elektrisiermaschine eine feine metallene Spitze, welche mit der Erde, etwa durch einen Draht, leitend ver[illegible] rselbe bei Umdrehung des Reibers nur eine sehr schwache Ladung an, [illegible] ricität zum größten Teil durch die

Spitze aufgefangt und zur Erde fortgeleitet wird. Hat die Leitung kurze Unterbrechungen, so sieht man daselbst die abströmende Elektricität in Funken überspringen. — Im Dunkeln nimmt man auch wahr, wie von der Spitze ein leuchtender Strahlenbüschel ausgeht.

Führt man eine durch Reiben elektrisierte Glasstange langsam über eine Flamme hinweg, so zeigt sich die Stange hinterher wieder ganz unelektrisch.

§. 126 (127). Elektrophor. Zufolge des vorig. §. (Nr. 4) kann man einen guten Leiter auch durch Anwendung von Influenz mit Elektricität laden. Ein Apparat, welcher nach diesem Princip größere Elektricitätsmengen zu entwickeln gestattet, ist der **Elektrophor** (Fig. 140). Derselbe besteht aus einem scheibenförmigen Isolator, dem Kuchen aa, früher gewöhnlich eine Mischung verschiedener Harze, jetzt meistens eine Hartgummiplatte, ferner einer metallenen Unterlage, der Form bb, und drittens einem scheibenförmigen Leiter, dem metallenen Deckel cc, welcher mit einem isolierenden Handgriff oder mit 3 seidenen Schnüren zum Halten versehen ist.

(Fig. 140.)



Peitscht man den Kuchen mit Pelz, so wird derselbe negativ elektrisch, und man kann nun folgendes beobachten.

1) Setzt man auf den Kuchen den isolierten Deckel und hebt ihn dann wieder empor, so liefert derselbe keinen Funken, woraus hervorgeht, daß auch bei der unmittelbaren Berührung zwischen Kuchen und Deckel keine (oder doch nur sehr wenig) Elektricität von dem ersteren auf den letzteren übergeht.

2) Dagegen erhält man einen Funken, wenn man den auf dem Kuchen liegenden Deckel ableitend mit dem Finger berührt. Es wird nämlich durch die negative Elektricität des Kuchens in dem Deckel positive Elektricität an die untere Seite gezogen, nach der oberen aber negative abgestoßen. Letztere ist es, welche in dem Funken zum Finger überströmt, was man auch dadurch nachweisen kann, daß man den Deckel anstatt mit dem Finger mit einer Probekugel (§. 120) berührt und dann die Elektricität der letzteren prüft.

3) Hebt man ferner den Deckel, nachdem er ableitend berührt worden ist, wieder empor, so wird die bislang an seiner unteren Seite gebundene positive Elektricität frei; der abgehobene Deckel giebt daher jetzt ebenfalls einen Funken und zwar von **positiver** Elektricität, wie auch eine Prüfung bestätigt.

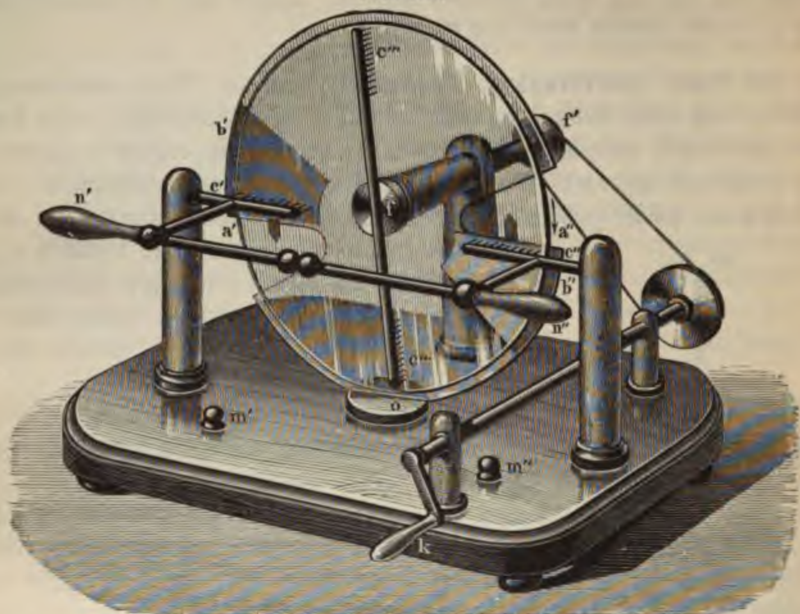
Auf die angegebene Weise kann man den Deckel beliebig oft mit positiver Elektricität laden, ohne daß hierbei der Kuchen merklich an Elektricität verliert; erst nach längerer Zeit wird die Wirkung allmählich eine schwächere.

Die Elektricität des Kuchens wirkt auch auf die Form verteilend ein, sodaß sich insbesondere an die dem Kuchen zugewendete Seite der Form positive Elektricität begiebt. Letztere wirkt dann ihrerseits, zumal wenn die negative Elektricität der Form zur Erde abfließen kann, bindend auf diejenige des Kuchens, so daß dieser nun größere Mengen der beim Peitschen frei werdenden Elektricität zu halten vermag. Ein Elektrophor liefert daher besonders kräftige Funken, wenn die Form mit der Erde ableitend verbunden ist. Auf gleichem Grunde beruht es, daß sich der Elektrophor bei abgeleiteter Form viel länger, oft noch nach Monaten, ohne von neuem gerieben zu sein, wirksam zeigt. — Von Einfluß ist auch die dielektrische Polarisation (§. 125, a, Anm.).

Der Elektrophor ist von *Wilcke* 1762 erfunden.

*§. 127 (129). **Influenzelektrisiermaschine.** Das Princip des Elektrophors, durch wiederholte Influenz größere Elektricitätsmengen zu entwickeln, findet eine

(Fig. 141.)



besonders erfolgreiche Anwendung in der Influenzmaschine (Fig. 141). Dieselbe hat folgende Einrichtung:

Zwei dünne Glasscheiben stehen einander parallel in sehr geringem Abstande gegenüber. Die eine Scheibe, in Fig. 141 die hintere, ist fest; die andere (vordere) Scheibe ist um die Achse ff', welche durch eine Öffnung in der Mitte der feststehenden Scheibe hindurchgeht, vermittelst der Kurbel k und eines Schnurlaufs drehbar. In der festen Scheibe sind einander diametral gegenüber bei a' und a'' zwei Ausschnitte und neben denselben auf der hintern Seite der Scheibe die beiden Papierbelegungen b' und b'' angebracht. An den den Ausschnitten benachbarten Kanten laufen die Belegungen in Zähne aus, welche durch die Ausschnitte hindurch gegen die drehbare Scheibe gebogen sind und dicht an derselben in Spitzen enden. Den beiden Belegungen gegenüber befinden sich vor der (vorderen) drehbaren Scheibe zwei mit feinen Spitzen versehene metallene Kämme, die Einsauger der beiden Konduktoren c' und c'', welche von zwei isolierenden Säulen getragen werden und sich in zwei Arme fortsetzen, deren kugelförmige Enden vermittelst der isolierenden Griffe n' und n'' beliebig einander genähert oder voneinander entfernt werden können.

Um die Maschine in Thätigkeit zu versetzen, bringt man zunächst die Kugelenden der beiden Konduktoren c' und c'' in unmittelbare Berührung, macht dann die eine Belegung, z. B. b', elektrisch, indem man sie etwa mit einer geriebenen Kautschukplatte berührt, und dreht die bewegliche Scheibe so, daß sie sich den Spitzen der Belegungen entgegen bewegt.

Dabei findet dann folgender Vorgang statt: Die negative Elektricität, welche die Belegung b′ von der Kautschukplatte erhält, wirkt verteilend auf den Konduktor c′, stößt negative Elektricität gegen das Kugelende hin, zieht dagegen positive durch den Saugkamm auf die bewegliche Glasscheibe. Die auf die Scheibe übergeströmte positive Elektricität wirkt dann weiter verteilend auf die Belegung b′, wobei abgestoßene positive Elektricität durch die Spitze der Belegung auf die Rückseite der Glasscheibe überfließt. Dieser Vorgang findet, da bei der Drehung immer neue unelektrische Scheibenteile zwischen der Belegung und dem Konduktor hindurch gehen, andauernd statt, und es bedeckt sich so die Scheibe oberhalb des Konduktors c′ in der Breite des Saugkammes auf beiden Seiten in wachsender Ausdehnung mit positiver Elektricität, während zugleich durch den Konduktor gegen das Kugelende fortwährend negative Elektricität getrieben wird.

Nach einer halben Umdrehung kommen aber die positiv geladenen Scheibenteile, deren Elektricität bis dahin durch die gegenüberstehende feste Scheibe gebunden wurde, an den Ausschnitt a″ dieser Scheibe, und treten hier der Spitze der Belegung b″ gegenüber, wobei dann die positive Elektricität der hinteren Fläche durch die Spitze eingesaugt und so die Belegung b″ positiv geladen wird. Weiter wird sodann auch die positive Elektricität der Vorderseite durch den Metallkamm des Konduktors c″ eingesaugt. Zugleich wirkt nun ferner noch die positive Ladung von b″ ähnlich wie bei dem Konduktor c′ die negative von b′, infolgedessen in dem Konduktor c″ positive Elektricität gegen das Kugelende getrieben wird, negative dagegen durch den Saugkamm auf die vordere Seite der Scheibe übergeht, worauf dann auch die Rückseite, indem die negative Elektricität der Vorderseite auf die Belegung b″ einwirkt, durch die Spitze der letzteren ebenfalls negative Elektricität erhält. Es werden demnach die Scheibenteile, welche zwischen dem Konduktor c″ und der Belegung b″ hindurchgehen, auf beiden Seiten mit negativer Elektricität geladen, während gleichzeitig fortgesetzt positive Elektricität durch den Konduktor c″ gegen das Kugelende hinströmt.

Kommen dann die negativ geladenen Stellen der Scheibe an den Ausschnitt a′ der festen Scheibe, so saugt die Spitze der Belegung b′ die negative Elektricität von der hinteren Fläche ein, wodurch die Ladung von b′ verstärkt wird, und es bedecken sich nun dem Obigen entsprechend die zwischen der Belegung und dem Konduktor hindurchgehenden Scheibenteile wieder mit positiver Elektricität u. s. w.

Eine Zusammenfassung ergiebt also folgendes: Wenn man die eine Belegung b′ negativ elektrisch macht, so wird die andere b″ positiv elektrisch; ferner ist dann die obere Hälfte der bewegten Scheibe stets mit positiver, die untere mit negativer Elektricität geladen, und es werden durch die Kugelenden der beiden Konduktoren fortwährend entgegengesetzte Elektricitäten getrieben, nämlich von c′ aus negative, von c″ aus positive; dabei verstärken sich die Elektricitäten der Belegungen und die durch dieselben hervorgerufenen Influenzelektricitäten gegenseitig.

Ist die Elektricitätsentwicklung gehörig im Gange, so vernimmt man ein Knistern, und kann dann die Kautschukplatte ganz fortlassen. Entfernt man darauf, ohne die Drehung zu unterbrechen, die Kugelenden der Konduktoren ein wenig von

einander, so sieht man die Elektricität zwischen denselben in zahlreichen rasch auf einander folgenden Funken überströmen.

Da die sich ausgleichenden Elektricitäten, welche zwar fortdauernd in großer Menge erzeugt werden, nur eine geringe Spannung besitzen, so darf der Abstand der Konduktoren nur klein sein. Übersteigt derselbe eine gewisse Grenze, so hört der Funkenstrom auf, und die Elektricitäten der Belegungen verschwinden allmählich.

Die Influenzmaschine übertrifft die gewöhnliche Reibungselektrisiermaschine darin, daß sie die erregten Elektricitäten in weit größerer Menge und in einem andauernden Funkenstrome liefert; ihre Wirksamkeit ist jedoch mehr von den Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft abhängig. — Zum Schutze gegen die Feuchtigkeit werden beide Scheiben der Maschine gut gefirnißt (vgl. §. 118, b).

Stärkere Entladungen lassen sich erreichen, wenn man die Elektricitäten auf beiden Konduktoren zunächst durch Einschaltung eines Ansammlungsapparates, wie solche in §. 130 näher beschrieben werden, in größerer Menge anhäuft. Gewöhnlich geschieht dies auf die Art, daß man auf die für diesen Zweck angebrachten Metallknöpfe m' und m'', welche durch einen unter dem Gestelle herlaufenden Metallstreifen verbunden sind, zwei kleine elektrische Flaschen stellt und deren innere Belegungen mit den Konduktoren c' und c'' in Verbindung bringt. Die Flaschen laden sich entgegengesetzt, während die Elektricitäten der äußeren Belegungen sich durch die leitende Verbindung der Metallknöpfe m' und m'' ausgleichen. Ist die Spannung groß genug, so findet die Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten der inneren Belegungen zwischen den Kugeln der Konduktoren in einem kräftigen Funken statt. Mit der Größe der eingeschalteten Flaschen wächst die Stärke, vermindert sich die Zahl der Entladungen.

Die Influenzmaschine ist von Holtz 1865 erfunden worden. — Neuerdings (1879) hat Töpler eine Influenzmaschine von sehr zusammengesetzter Einrichtung hergestellt, welche sich dadurch auszeichnet, daß sie sich von selbst erregt, sehr große Mengen von Elektricität liefert und nur wenig von der Feuchtigkeit der Luft abhängig ist.

§. 128. Elektricitätsgrad. In größerer Entfernung von einem geladenen Konduktor, wo dieser keine bemerkbare Influenzwirkung mehr ausübt, sei ein recht empfindliches Elektroskop aufgestellt. Wird letzteres dann durch einen langen Draht mit einer Probekugel (§. 120) verbunden und diese an den Konduktor gelegt, so empfängt das Elektroskop durch den Draht Elektricität von dem Konduktor und zeigt nun dessen elektrischen Zustand durch den Ausschlag seiner Blättchen an. Man nennt den elektrischen Zustand eines Konduktors, wie er sich durch die Wirkung auf ein entferntes, mit dem Konduktor verbundenes Elektroskop zu erkennen giebt, Elektricitätsgrad oder elektrisches Potential. Ist der Konduktor bei dem obigen Versuche etwa ein Würfel und führt man die Probekugel an dessen Oberfläche beliebig fort, z. B. von einer Fläche zu einer Kante und an dieser entlang zu einer Ecke, so bleibt der Ausschlag im Elektroskop stets der nämliche, wo auch die Kugel den Würfel berühren möge. Allgemein gilt das Gesetz:

1) Der Elektricitätsgrad eines Konduktors hat an jeder Oberflächenstelle denselben Wert.

Es unterscheidet sich hiernach der Elektricitätsgrad wesentlich von der elektrischen Dichte und Spannung, welche nach §. 123 an einer Stelle um so größer ausfallen, je stärker daselbst die Oberfläche gekrümmt ist.*) — Geben wir dem Konduktor eine

---

*) In der Elektrotechnik setzt man für Potential [illegible] ...nnung; es kann dann unter Spannung natürlich nicht mehr der in § [illegible] werden.

stärkere Ladung, so gehen die Blättchen im Elektroskop weiter auseinander; der Elektricitätsgrad wächst also mit der Elektricitätsmenge.

Es seien ferner zwei Konduktoren mit je einem entfernten Elektroskop derselben Art verbunden und so stark positiv geladen, daß die Elektroskope gleiche Ausschläge zeigen, die Konduktoren also gleichen Elektricitätsgrad besitzen. Verbindet man dann die Konduktoren durch eine übrigens isolierte Metallstange, so bleiben die Ausschläge in den Elektroskopen unverändert. Ist dagegen der eine Konduktor auf einen höheren Elektricitätsgrad gebracht worden als der andere, so nimmt nach der Verbindung beider der Ausschlag im Elektroskop bei dem ersteren ab, bei dem letzteren zu, bis die Elektroskope für beide Konduktoren gleichen Elektricitätsgrad anzeigen. Wir schließen hieraus:

2) Werden zwei Konduktoren von gleichem Elektricitätsgrade mit einander verbunden, so findet keine Änderung des elektrischen Gleichgewichts statt.

3) Werden zwei Konduktoren von ungleichem Elektricitätsgrade mit einander verbunden, so fließt Elektricität von dem Körper mit höherem Grade zu dem mit niedrigerem, bis beide gleichen Elektricitätsgrad erlangt haben.

Wenn man die vorhin angeführten Versuche mit negativer Elektricität anstellt, so zeigen sich die gleichen Erscheinungen; nur erhalten dann die Elektroskope natürlich ebenfalls negative Ladungen. Dementsprechend bezeichnet man den Elektricitätsgrad eines Konduktors als positiv oder negativ, je nachdem ein mit ihm verbundenes Elektroskop positiv oder negativ geladen wird. Ein Konduktor, welcher am Elektroskop keinen Ausschlag bewirkt, hat den Elektricitätsgrad Null insbesondere ist der Elektricitätsgrad der Erde und jedes mit ihr in Verbindung stehenden Konduktors gleich Null.

Da gleiche Mengen entgegengesetzter Elektricitäten sich gegenseitig aufheben, so ist klar, daß auf zwei Konduktoren, von denen der eine mit positiver, der andere mit der gleichen Menge negativer Elektricität geladen ist, die vorhandenen Elektricitätsgrade verschwinden müssen, wenn zwischen beiden eine leitende Verbindung hergestellt wird. Nach §. 125, b wissen wir ferner, daß das Überströmen freier Elektricität von einem Körper zu einem anderen im Grunde stets auf einer Ausgleichung entgegengesetzter Elektricitäten beruht. Werden z. B. zwei negativ geladene Konduktoren von ungleichem Elektricitätsgrade mit einander verbunden, so geht nicht nur von dem Konduktor mit dem größeren negativen Grade negative Elektricität auf den mit dem kleineren über, sondern es fließt zugleich auch umgekehrt von dem letzteren positive Elektricität zu dem ersteren hin. Indem man nun jedesmal nur die Bewegung der positiven Elektricität ins Auge faßt und entgegengesetzte Elektricitätsgrade wie entgegengesetzte algebraische Größen betrachtet, sodaß ein negativer Grad um so kleiner ausfällt, je größer sein absoluter Wert ist, läßt sich das obige Gesetz 3 allgemein für gleichnamig und ungleichnamig elektrische Konduktoren aufstellen: in allen Fällen strömt positive Elektricität von dem Konduktor mit höherem Elektricitätsgrade zu dem mit niedrigerem (und negative in umgekehrter Richtung). — Ferner gilt

dann noch der Satz: **Der Elektricitätsgrad eines Konduktors wird durch Zuführung positiver Elektricität erhöht, durch Zuführung negativer erniedrigt.**

Es erklärt sich nun, daß ein isolierter Leiter, welcher mit dem Konduktor einer thätigen Elektrisiermaschine in Verbindung steht, immer nur bis zu einer gewissen Grenze mit Elektricität geladen wird; dem Leiter strömt nämlich keine Elektricität mehr zu, sobald sein Elektricitätsgrad gleich dem des Konduktors geworden ist. Ebenso nimmt ein Leiter von dem Deckel eines Elektrophors keine Elektricität mehr auf, wenn er denselben Elektricitätsgrad erhalten hat, welchen der Deckel beim Abheben von dem Kuchen annimmt. **Überhaupt strömt einem mit irgend einer Elektricitätsquelle verbundenen Leiter keine Elektricität mehr zu, sobald sein Elektricitätsgrad gleich dem der Elektricitätsquelle geworden ist.**

Während nach dem Obigen bei Konduktoren, welche durch einen guten Leiter in Verbindung gesetzt werden, stets eine Bewegung der Elektricität stattfindet, falls ein Unterschied im Elektricitätsgrade vorhanden ist, kommt es bei ungleich stark elektrisierten Körpern, welche durch einen schlechten Leiter, etwa durch Luft, von einander getrennt sind, nur dann zu einer Ausgleichung der Elektricitäten, wenn die Spannung an den einander zugewendeten Seiten groß genug ist, um den vorhandenen Leitungswiderstand zu überwinden (vgl. §. 125, b). Diese Spannung ist es z. B., welche bei einer Elektrisiermaschine den Übergang der Elektricität von dem Reiber in die Spitzen des Einsaugers bedingt.

Der Elektricitätsgrad hat für die Elektricität eine ähnliche Bedeutung, wie die Temperatur (der Wärmezustand) für die Wärme, da ein wärmerer Körper an einen kälteren, wenn beide sich berühren oder durch einen guten Wärmeleiter verbunden sind, ebenfalls solange Wärme abgiebt, bis beide gleiche Temperatur besitzen.

Bislang haben wir nur von dem Elektricitätsgrade auf der Oberfläche eines elektrischen Körpers gesprochen; ein solcher besteht aber infolge der elektrischen Fernwirkung auch in der Umgebung sowie im Innern des Körpers. Bringen wir z. B. die mit dem Elektroskop verbundene Probekugel nur in die Nähe eines positiv geladenen Konduktors, so werden durch Influenz in der Kugel entgegengesetzte Elektricitäten getrennt; negative wird in die dem Konduktor zugewendete Seite gezogen, positive in das Elektroskop abgestoßen und so in diesem ein Ausschlag bewirkt, welcher dem Obigen zufolge für die Stelle, an der sich die Probekugel befindet, einen positiven Elektricitätsgrad anzeigt. Hätte der Konduktor eine negative Ladung, so würde das Elektroskop ebenfalls negative Elektricität erhalten, also auch einen negativen Elektricitätsgrad angeben. Allgemein besteht für einen elektrisierten Körper an jeder Stelle seines elektrischen Feldes (§. 124), je nachdem er positiv oder negativ elektrisch ist, ein positiver oder negativer Elektricitätsgrad. Da ferner der Ausschlag im Elektroskop um so kleiner ausfällt, je weiter die Probekugel von dem Konduktor entfernt wird, so gilt der Satz:

4) **Der (absolute) Wert des Elektricitätsgrades nimmt mit der Entfernung von dem elektrischen Körper ab.**

Es sei weiter ein hohler, an einer Stelle offener Konduktor mit Elektricität geladen. Hält man dann die Probekugel in das Innere desselben, so entsteht im Elektroskop ein bestimmter Ausschlag, welcher sich nicht ändert, wenn man die Kugel in dem Konduktor beliebig verschiebt, sie an die innere Wandung anlegt und an die äußere Oberfläche herumführt. Daraus schließen wir:

5) **Der Elektricitätsgrad hat im Innern eines Konduktors den nämlichen Wert wie an dessen Oberfläche.** Dies geht auch aus einer einfachen Überlegung hervor; denn wenn z. B. an irgend zwei Stellen des Konduktors ein ungleicher Elektricitätsgrad vorhanden wäre, so würde nach Gesetz 3 Elektricität von der Stelle höheren zu der niedrigeren Grades überströmen müssen, elektrisches Gleichgewicht also nicht bestehen können.

Hiernach muß ferner, wenn man einen Konduktor in die Nähe eines elektrisierten Körpers bringt, der Elektricitätsgrad, welcher zufolge des Obigen unter gewöhnlichen Verhältnissen in dem elektrischen Felde eines Körpers mit der Entfernung von diesem kleiner wird, auf dem ganzen Konduktor einen gleichen Wert annehmen, wie auch die Prüfung bestätigt. Diese Änderung des

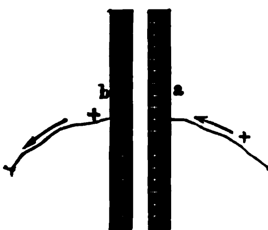
Elektricitätsgrades kommt durch die Influenzwirkung des elektrischen Körpers zustande. Ist derselbe z. B. positiv geladen, so bewirkt die negative Elektricität, welche in die angenäherte Seite des Konduktors strömt, daselbst eine Erniedrigung, hingegen die nach der entfernteren Seite abgestoßene positive Elektricität eine Erhöhung des Elektricitätsgrades. Auf diese Weise erhält der Konduktor bei einem Überschuß von negativer Elektricität an einer Seite in seiner ganzen Ausdehnung einen gleichen positiven Elektricitätsgrad. Verbindet man den Konduktor mit der Erde, so sinkt der Elektricitätsgrad desselben, indem die positive Elektricität zur Erde abfließt, auf Null, wobei der Konduktor selbst negative Elektricität enthält.

Über die Einheit des Elektricitätsgrades siehe unten §. 148, a, Anm.

§. 129. Ansammlungsapparate. Konduktoren von verschiedener Größe und Gestalt bedürfen im allgemeinen ungleicher Elektricitätsmengen, um denselben Elektricitätsgrad zu erhalten. Wird z. B. ein Konduktor bis zu einem gewissen Grade geladen und dann mit einem zweiten unelektrischen Konduktor in Berührung gebracht, so sinkt der Elektricitätsgrad, indem sich die Elektricität über die gesamte Oberfläche des nun aus den beiden Konduktoren gebildeten Körpers ausbreitet. Man muß neue Elektricitätsmengen zuführen, wenn der ursprüngliche Grad wiederhergestellt werden soll. Von Körpern, welche bei gleicher Elektricitätsmenge denselben Elektricitätsgrad annehmen, sagt man, sie haben gleiches Fassungsvermögen oder gleiche Kapacität. Zufolge des Vorstehenden wächst das elektrische Fassungsvermögen mit der Oberfläche. Man wendet daher bei der Reibungselektrisiermaschine möglichst große Konduktoren an.

Bringt man ferner in die Nähe eines positiv geladenen Konduktors einen negativ elektrischen Körper, so wird der Elektricitätsgrad des Konduktors, wie man durch eine Prüfung leicht nachweisen kann, erniedrigt, was sich daraus erklärt, daß seine Elektricität durch die entgegengesetzte des anderen Körpers zum großen Teil auf die diesem zugewendete Seite gezogen und dort gebunden wird. Dieselbe Erscheinung tritt auch ein, wenn man dem geladenen Konduktor einen zweiten mit der Erde verbundenen gegenüberstellt, indem sich dann in diesem negative Influenzelektricität ansammelt, welche nun auch umgekehrt anziehend auf die Elektricität des ersteren Konduktors zurückwirkt. Wir können demnach sagen: Stellt man einem geladenen Konduktor einen zweiten mit der Erde verbundenen gegenüber, so wird der Elektricitätsgrad des ersteren erniedrigt, sein Fassungsvermögen also erhöht.

(Fig. 142.)



Auf diesem Princip beruhen die elektrischen Ansammlungs- oder Verstärkungsapparate. Ein solcher besteht im wesentlichen aus zwei einander sehr nahe gegenüberstehenden Metallplatten a und b (Fig. 142), welche durch eine dünne Schicht aus Luft, Glas oder einem anderen Isolator getrennt sind. Beim Gebrauch wird die eine Platte mit einer Elektricitätsquelle, die andere mit der Erde verbunden.

Denken wir uns zunächst, es sei nur die eine Platte a vorhanden und dieselbe werde mit dem positiven Konduktor einer thätigen Elektrisiermaschine in Verbindung

gesetzt. Zufolge des vorig. §. fließt dann Elektricität von dem Konduktor auf die Platte, bis diese den Elektricitätsgrad des Konduktors angenommen hat. Stellt man nun aber der Platte a die andere b gegenüber und verbindet die letztere zugleich ableitend mit der Erde, so zieht die positive Elektricität von a negative in die Platte b und, indem sich dann die entgegengesetzten Elektricitäten beider Platten hauptsächlich auf den benachbarten inneren Flächen anhäufen und binden, wird nach dem Obigen der Elektricitätsgrad auf der Platte a wieder erniedrigt. Infolgedessen giebt der Konduktor an a aufs neue Elektricität ab, welche nun ebenfalls in die Platte b negative Elektricität hineinzieht und dann von dieser zum größten Teil gebunden wird, sodaß wiederum Elektricität von dem Konduktor auf die Platte a übergehen muß u. s. w. Dieser Vorgang wird sich so lange wiederholen, bis schließlich auf der Platte a der Elektricitätsgrad des Konduktors wiederhergestellt worden ist. Auf solche Weise geschieht es infolge gegenseitiger Anziehung entgegengesetzter Elektricitäten, daß sich dieselben auf den Platten in weit größerer Menge ansammeln, als ohne dies der Fall sein würde.

(Fig. 143.)

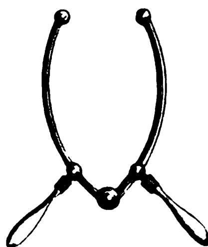


Nach dem Früheren ist ferner klar, daß die sich anhäufende Elektricitätsmenge unter übrigens gleichen Umständen um so größer ausfallen muß, je näher die Platten einanderstehen und je größer ihr Durchmesser ist.

Ein Ansammlungsapparat, welcher sich besonders zu Versuchen über die Wirkungsweise dieser Apparate eignet, ist die Franklinsche Tafel (Fig. 143). Dieselbe besteht aus einer Glastafel, welche bis auf einen mehrere Finger breiten Rand mit Stanniol belegt ist. Behufs besserer Isolierung ist der frei bleibende Rand mit Firnis überzogen. — Verbindet man die eine Belegung mit dem Konduktor einer thätigen Elektrisiermaschine, während man die andere Belegung mit dem Finger berührt, so laden sich beide Belegungen zufolge des Obigen mit entgegengesetzten Elektricitäten.

Zur Entladung der Tafel bedient man sich gewöhnlich eines besonderen Ausladers (Fig. 144). Derselbe besteht aus zwei beweglich mit einander verbundenen und in Kugeln endigenden Metallstangen, welche mit isolierenden Handgriffen versehen sind, mittelst deren sich die Kugeln beliebig nähern und von einander entfernen lassen. — Legt man die eine Kugel des Ausladers an eine Belegung der geladenen Tafel und nähert die zweite Kugel der anderen Belegung bis zur Berührung, so findet eine Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitäten in einem kräftigen Funken statt.

(Fig. 144.)

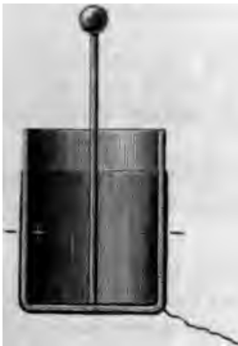


Verbindet man die eine Belegung der Tafel mit dem positiven Konduktor einer thätigen Elektrisiermaschine, ohne aber die zweite Belegung abzuleiten, so nimmt die Tafel nur eine ganz schwache Ladung an, da die abgestoßene positive Elektricität der zweiten Belegung nun nicht entweichen kann. — Ist zugleich an jeder Belegung ein kleines Pendel (ein Holundermarkkügelchen an einem Leinenfaden) angebracht (s. Fig. 143), so wird nicht nur das Pendel der mit dem Konduktor verbundenen Belegung, sondern auch das der zweiten Belegung von der Tafel abgestoßen; letzteres sinkt aber wieder zurück, sobald man die zweite Belegung ableitend berührt, indem dann die abgestoßene Elektricität zur Erde abfließt, die Belegung den Elektricitätsgrad Null annimmt. — Berührt man die zweite Belegung nicht unmittelbar, sondern nähert ihr nur den Finger oder eine mit der Erde verbundene Metallstanae. so sieht man die abgestoßene Elektricität in einzelnen Funken überspringen, und die Tafel wi [illegible] n.

Bei der geladenen Tafel wird das Pendel derjenigen Belegung, welche mit dem Konduktor der Maschine verbunden war, abgestoßen, ein Zeichen dafür, daß sich auf dieser Belegung freie positive Elektricität befindet. Da nämlich die elektrische Wirkung mit der Entfernung abnimmt, so zieht die positive Elektricität, welche beim Laden von dem Konduktor auf die Belegung überströmt, nicht eine ihr gleiche, sondern nur eine etwas geringere Menge von negativer Elektricität in die andere Belegung. Ebenso vermag auch diese negative Elektricität nur eine in demselben Verhältnisse geringere Menge der positiven Elektricität auf der ersten Belegung zu binden. Nähert man nun der ersten Belegung den Finger bis zur Berührung, so strömt die freie Elektricität in einem Funken zum Finger über und das Pendel sinkt, indem der Elektricitätsgrad der Belegung den Wert Null annimmt; andererseits erhebt sich das Pendel an der zweiten Belegung, indem daselbst ein Teil der negativen Elektricität frei wird und so ein negativer Elektricitätsgrad entsteht. — Entfernt man den Finger von der ersten Belegung und berührt darauf die zweite, so erhält man jetzt einen Funken von negativer Elektricität, wobei das Pendel an dieser Belegung sinkt, an der ersteren dagegen wieder steigt. Auf diese Weise kann man aus einer geladenen Tafel durch abwechselnde Berührung beider Belegungen nach einander zahlreiche kleine Funken hervorziehen und so eine allmähliche Entladung der Tafel bewirken.

§. 130. Elektrische Flasche. Zur Erzeugung starker Ladungen benutzt man einen **Ansammlungsapparat**, welcher nach seiner Form den Namen **elektrische Flasche** führt. Dieselbe (Fig. 145) besteht aus einem Glase, welches innen und außen mit Stanniol belegt ist, doch so, daß zwischen beiden Belegungen ein dieselben trennender Rand des Glases frei bleibt, welchen man zur besseren Abhaltung der Feuchtigkeit mit Siegellack oder Schellack überzieht. Zur inneren Belegung führt eine Metallstange, welche oben außerhalb der Flasche in eine Kugel endet und den Zweck hat, die innere Belegung bequem mit einer Elektricitätsquelle verbinden zu können.

(Fig. 145.)



Bringt man bei einer solchen Flasche, deren Belegungen den Metallplatten des vorig. §. entsprechen, die innere Belegung mit dem positiven Konduktor einer thätigen Elektrisiermaschine, die äußere, indem man die Flasche etwa in der Hand hält, mit der Erde in Verbindung, so geht auf die innere Belegung positive Elektricität über, während sich auf der äußeren negative ansammelt; die Flasche wird so, wie man sagt, **positiv geladen**. Sie wird wieder entladen, wenn man beide Belegungen durch einen Leiter verbindet, indem sich dann die angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten bei einer gewissen Entfernung beider Belegungen durch den Leiter hindurch entgegenfließen und in einem kurzen, von einem Knall begleiteten Funken, dem **elektrischen Schlage**, ausgleichen. Der größte Abstand der beiden Belegungen, bei welchem die Entladung gerade vor sich geht, wird **Schlagweite** genannt. — Während der Entladung wird der verbindende Leiter, der **Schließungsbogen**, von einem elektrischen Strome (von positiver Elektricität in der einen, von negativer in der entgegengesetzten Richtung) durchflossen.

Nach den Erörterungen des vorig. §. begreift man, daß eine Flasche unter übrigens gleichen Umständen eine um so stärkere Ladung annehmen muß, je dünner

das beide Belegungen trennende Glas ist. Wenn dieses jedoch allzu dünn ist, so erwächst hieraus die Gefahr, daß die sich anziehenden entgegengesetzten Elektricitäten sich vereinigen, indem sie das Glas durchbohren und so die Flasche unbrauchbar machen. Desgleichen ist klar, daß man einer Flasche eine um so stärkere Ladung zu erteilen vermag, je größer dieselbe (genauer die Oberfläche einer Belegung) ist.

(Fig. 146.)



Kräftigere Wirkungen als mit einer einfachen Flasche werden dadurch erreicht, daß man mehrere Flaschen gewissermaßen zu einer größeren zusammenstellt, indem man einerseits sämtliche inneren, andererseits sämtliche äußeren Belegungen unter einander leitend verbindet. Man nennt eine solche Vereinigung einfacher Flaschen eine elektrische Batterie. Fig. 146 stellt eine aus 4 Flaschen gebildete Batterie dar, bei welcher die inneren Belegungen durch Metallstangen, die äußeren aber dadurch in leitende Verbindung gesetzt sind, daß die Flaschen auf einem mit Stanniol überzogenen Brette stehen.

Bei sehr starken Ladungen kann es vorkommen, daß sich die Flasche oder Batterie von selbst entladet, indem der Entladungsfunke über den Rand des Glases hinweg von der einen zur anderen Belegung überspringt. Um dies zu vermeiden, muß man dem Rande die gehörige Breite (etwa $^1/_3$ der Flaschenhöhe) geben.

Die im vor. §. angegebenen Versuche mit der Franklinschen Tafel lassen sich in entsprechender Weise auch mit der elektrischen Flasche anstellen; dabei kann man die äußere Belegung etwa auf die Weise isolieren, daß man die Flasche auf eine Hartgummiplatte stellt.

Auch wenn man die Entladung auf die Art bewirkt, daß man zwischen beiden Belegungen eine vollständige leitende Verbindung herstellt, indem man z. B. die Enden des Ausladers mit den beiden Belegungen zur Berührung bringt, aber diese Verbindung nach erfolgter Entladung sofort wieder aufhebt, so erhält man, wenn man nach einiger Zeit die Verbindung wieder herstellt, noch eine zweite, jedoch bei weitem schwächere, und dann weiter, wenn man ebenso aufs neue verfährt, auch wohl noch eine dritte und vierte, aber immer schwächer werdende Entladung. Diese zurückbleibenden Ladungen bezeichnet man als elektrisches Residuum. Man erklärt dieselben dadurch, daß die auf den Belegungen angesammelten Elektricitäten auch auf den zwischenliegenden schlechten Leiter, das Glas, eine Influenzwirkung ausüben, infolgedessen in demselben geringe Mengen von Elektricität getrennt werden. Diese in dem Isolator getrennten Elektricitäten wirken ihrerseits anziehend auf einen kleinen Teil der in den Belegungen vorhandenen Elektricitäten und halten denselben bei einer Entladung zurück. Nach der Entladung aber fließen die Elektricitäten in dem Isolator wieder allmählich zusammen; infolgedessen können sich nunmehr auch die auf den Belegungen zurückgehaltenen Elektricitäten bei hergestellter Verbindung untereinander ausgleichen. (Vergl. auch §. 125, a.)

Die Influenzwirkung, welche von den Elektricitäten einer geladenen Flasche auf das zwischen den Belegungen liegende Glas ausgeübt wird, hat ferner zur Folge, daß die Flasche eine erheblich stärkere Ladung anzunehmen vermag, als der Fall sein würde, wenn sich zwischen den Belegungen Luft befinden würde. Es läßt sich dies mit Hülfe eines Ansammlungsapparates zeigen, bei welchem die Metallplatten, wie in Fig. 142 des vorig. §. schematisch dargestellt ist, durch Luft getrennt sind. Man verbindet zu dem Zweck die eine [illegible] em Blattelektroskop und teilt ihr dann, während

die andere b zur Erde abgeleitet ist, soviel Elektricität mit, bis der frei bleibende Teil derselben die Blättchen des Elektroskops auseinander treibt. Schiebt man nun z. B. eine Glas- oder Hartgummitafel zwischen die beiden Platten, so vermindert sich alsbald der Ausschlag im Elektroskop, ein Zeichen dafür, daß von der Elektricität, welche man der Platte a mitgeteilt hatte, nach Einschaltung des festen Isolators ein größerer Teil gebunden worden ist, als vorher der Fall war. Genaue Messungen haben ergeben, daß die Kapacität bei Ersetzung der Luftschicht durch eine Glas- oder Hartgummitafel von gleicher Dicke auf mehr als das Dreifache erhöht wird.

Um die Menge der in einer Flasche oder Batterie aufgehäuften Elektricität zu bestimmen, dient die elektrische Maßflasche (Fig. 147). Dieselbe besteht aus einer gewöhnlichen elektrischen Flasche, mit welcher auf dem nämlichen Fußgestell die hölzerne Säule a fest verbunden ist. Durch diese geht oben eine verschiebbare in einen Knopf endigende Metallstange c hindurch, welche durch einen Draht f mit der äußern Belegung in Verbindung steht. Beim Gebrauch wird der Knopf der Stange c der Kugel d bis auf einen kleinen Abstand genähert, die äußere Belegung der Maßflasche mit dem Erdboden, die innere aber mit der äußern Belegung der zu ladenden und auf eine isolierende Unterlage gestellten Batterie oder Flasche in leitende Verbindung gebracht. Wird nun die innere Belegung dieser Batterie mit dem Konduktor einer thätigen Elektrisiermaschine verbunden, so entflieht die abgestoßene Elektricität der äußeren Belegung in die innere Belegung der Maßflasche und ladet dieselbe. Der geringe Abstand aber zwischen den Knöpfen c und d veranlaßt, daß bei fortgesetzter Umdrehung der Maschine sich die Maßflasche von selbst in wiederholten Funken entladet. Die Zahl dieser Funken ist bei ungeändertem Abstande der Knöpfe c und d der Menge der in der geladenen Batterie angehäuften Elektricität proportional.

(Fig. 147.)



Durch die Maßflasche wird man in den Stand gesetzt, der nämlichen Flasche oder Batterie für wiederholte Versuche jedesmal eine gleiche Ladung zu erteilen, sowie auch die bei ungleichen Ladungen angewandten Elektricitätsmengen abzumessen.

Messungen mit Hülfe der Maßflasche haben ergeben: Die Schlagweite einer Flasche oder Batterie ist der Dichte der in der inneren Belegung angehäuften Elektricität proportional, vorausgesetzt, daß die Gestalt derjenigen Stellen, zwischen denen die Entladung stattfindet, sich nicht ändert. Dagegen ist die Schlagweite von der Beschaffenheit des Schließungsbogens, ob dieser aus einem mehr oder weniger guten Leiter besteht, unabhängig.

Die elektrische Flasche ist von Kleist zu Kammin in Pommern (1745) und von Kunnäus in Leyden (1746) erfunden, woher die Flasche auch die Namen Kleistsche und Leydener Flasche erhalten hat. Die richtige Erklärung der elektrischen Flasche ist zuerst von Franklin gegeben (Franklinsche Tafel, §. 129). — Die Maßflasche ist von dem Engländer Lane (1770) erfunden.

*§. 131. **Kondensator.** Das in §. 129 entwickelte Princip der Verstärkung wendet man auch mit Erfolg zum Nachweise sehr schwacher Elektricitätsgrade an. Der diesem Zweck dienende Apparat führt den Namen Kondensator. Derselbe besteht aus zwei genau aufeinander passenden Metallplatten, welche an den einander zugewendeten Seiten mit einer dünnen, die metallische Berührung hindernden Firnisschicht überzogen sind. Die eine dieser Platten, welche man mit dem zu prüfenden Körper berührt, wird Kollektorplatte, die andere, welche ableitend mit der Erde zu verbinden ist, wird Kondensatorplatte genannt.

Gewöhnlich ist die Kollektorplatte gleich auf ein Elektroskop an Stelle des Knopfes aufgesetzt, wie dies Fig. 148 zeigt, und die Kondensatorplatte mit einem isolierenden Handgriff versehen. Hält man dann an die Kollektorplatte einen etwa schwach positiv elektrischen Körper, während man zugleich die auf der Kollektorplatte liegende, aber durch die isolierende Firnisschicht von ihr getrennte Kondensatorplatte mit dem Finger ableitend berührt, so geht nach §. 129, indem sich auf der Kondensatorplatte negative Elektricität ansammelt, aus dem berührenden Körper weit mehr positive Elektricität in die Kollektorplatte über, als der Fall sein würde, wenn die Kondensatorplatte gar nicht vorhanden wäre. Dabei wird die positive Elektricität der ersteren Platte zunächst durch die negative der letzteren größtenteils gebunden; hebt man aber die Kondensatorplatte ab, so breitet sich die bislang an der oberen Fläche der Kollektorplatte gebundene Elektricität frei über diese und die Blättchen, wodurch in dem Elektroskop ein bedeutend höherer Elektricitätsgrad hervorgerufen wird als durch die bloße Berührung mit dem zu prüfenden Körper.

(Fig. 148.)



Der Kondensator ist 1782 von Volta erfunden worden.

§. 132 (124). **Weg und Geschwindigkeit der Elektricität.** Führt man den Entladungsschlag einer elektrischen Flasche durch eine Leitung, welche sich in zwei gleich lange und gleich gut leitende Zweige spaltet, von denen jeder eine kurze Unterbrechung hat, so nimmt man an beiden Unterbrechungsstellen einen Funken wahr, indem sich der elektrische Strom gleichmäßig zwischen den Zweigen verteilt; haben dieselben aber verschiedene Länge oder verschiedenes Leitungsvermögen, so geht der Strom hauptsächlich durch den kürzeren oder besseren Leiter. Überhaupt nimmt die Elektricität vorzugsweise denjenigen Weg, auf welchem der gesamte Leitungswiderstand am geringsten ist.

Die Zeit, in welcher die Elektricität selbst eine sehr lange Leitung durchläuft, ist bei Anwendung gewöhnlicher Beobachtungsmittel unmeßbar klein. — Theoretische Untersuchungen machen es wahrscheinlich, daß die Elektricität eine Leitung, in welcher sie gar keinen Widerstand zu überwinden hätte, mit einer Geschwindigkeit durcheilen würde, welche der des Lichtes gleichkommt. Hiernach würde sie in einem vollkommnen Leiter in 1 Sek. einen Weg von 40 000 Meil. (300 000 km) zurücklegen.

Die Dauer des elektrischen Funkens ist eine sehr geringe, wie daraus hervorgeht, daß selbst sehr schnell bewegte Körper, wenn man sie im Lichte des elektrischen Funkens beobachtet, still zu stehen scheinen. — Da ein Lichteindruck im Auge nach dem Aufhören der Ursache noch eine kurze Zeit andauert, so erscheint ein heller Punkt, der sich in schneller Bewegung befindet, einem Beobachter für gewöhnlich als helle Linie (s. §. 122); diese Erscheinung tritt jedoch nicht ein, wenn
beim Lichte des elektrischen Funkens anstellt.

Wheatstone in England hat zuerst (1835) die Abmessung
Geschwindigkeit der Elektricität durch folgendes Verfahren ermöglicht.
dauer beobachtete er das Bild des Funkens in einem Spiegel, wäh

um eine durch seine Ebene gehende Achse gedreht wurde. Bei der Drehung eines Spiegels bewegt sich das Bild eines im Spiegel sichtbaren Gegenstandes ebenfalls um die Drehungsachse und zwar beschreibt es einen Kreisbogen, welcher doppelt soviel Grade hat als der Winkel, um welchen sich der Spiegel dreht (s. unten §. 192). Hiernach wird wegen der Fortdauer des Lichteindrucks das Bild des elektrischen Funkens senkrecht zur Drehungsachse an Ausdehnung zunehmen müssen, sobald dasselbe während der Funkendauer überhaupt um eine bemerkbare Größe fortrückt. Wheatstone drehte nun den Spiegel so rasch, daß derselbe in 1 Sek. 50 Umläufe ($=50 . 360^0$) machte und folglich $^1/_4{}^0$ in $^1/_{72000}$ Sek. zurücklegte. Wenn daher ein Funke auch nur diese kurze Dauer hatte, so mußte er im Spiegel schon die deutlich wahrnehmbare Ausdehnung von $^1/_2{}^0$ erhalten. Thatsächlich zeigten sich jedoch bei diesen Versuchen die Funken im rotierenden Spiegel ganz ebenso wie im ruhenden, wonach die Dauer eines solchen Funkens noch nicht $^1/_{72000}$ Sek. betrug.

Wheatstone stellte sodann auch Versuche über die Geschwindigkeit an, mit welcher der Entladungsstrom einer elektrischen Flasche eine längere Drahtleitung durchläuft. Diese Leitung hatte an drei neben einander gelegenen Stellen a, b und c eine kurze Unterbrechung; von a bis b durchlief der Strom einen in mehreren Windungen fortgeführten Draht von (ungefähr) 400 m Länge und einen ebenso langen Draht von b bis c. Die drei Unterbrechungsstellen a, b und c lagen in einer wagerechten Linie und der Spiegel ließ sich um eine der Verbindungslinie abc parallele, also wagerechte Achse drehen. Im ruhenden Spiegel erschienen drei Funkenbilder nebeneinander (Fig. 149); als aber der Spiegel 800 Umläufe in 1 Sek. machte, erschienen 1) sämtliche Bilder von oben nach unten in die Länge gezogen, und 2) das mittlere gegen die beiden äußeren etwas verschoben, und zwar im Sinne der Drehung nach unten oder oben, wie dies Fig. 150 für den ersteren Fall darstellt.

(Fig. 149.)
a b c

(Fig. 150.)
a b c

Wheatstone schloß hieraus folgendes:

1) Da die Bilder aller drei Funken in die Länge ausgedehnt erscheinen, so geht hieraus hervor, daß die Entladung einer elektrischen Flasche durch einen solchen längern Leitungsdraht nicht augenblicklich, sondern allmählich geschieht.

2) Da die beiden äußeren Funkenbilder bei a und c ihre gegenseitige Lage nicht geändert haben und nur das mittlere Bild gegen die äußern verschoben erscheint, so folgt, daß der Strom nicht bloß von einer Belegung zur andern, sondern von beiden Belegungen zugleich ausgeht.

3) Da die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die beiden äußeren ungefähr $^1/_2{}^0$ betrug, so muß der mittlere Funke gegen die beiden anderen um einen Zeitraum zurückgeblieben sein, während dessen der Spiegel sich um $^1/_4{}^0$ gedreht hat. Da nun der Spiegel in 1 Sek. 800 Umläufe machte, also $^1/_4{}^0$ im 1 152 000. Teile einer Sekunde zurücklegte, so hatte der Strom in dieser Zeit die Leitung von einer äußeren Unterbrechungsstelle bis zur mittleren, also eine Länge von 400 m durchlaufen; er würde folglich in 1 Sek. 460 800 km oder ungefähr 62 000 Ml. zurücklegen.

Diese von Wheatstone durch das angegebene Verfahren erhaltene Zahl kann natürlich nur für eine ungefähre Abschätzung gelten. — Andere Physiker haben später durch Abmessungen an Telegraphendrähten 2—4 mal kleinere Werte gefunden. Nach neueren Untersuchungen scheint die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes auch von der Länge des durchflossenen Drahtes abhängig zu sein und zwar so, daß sie mit wachsender Länge abnimmt, wonach dann von einer bestimmten Geschwindigkeit im allgemeinen überhaupt keine Rede sein könnte.

Wiederholte Untersuchungen mittelst eines rotierenden Spiegels haben ferner hinsichtlich der Entladungsdauer ergeben, daß dieselbe für eine elektrische Flasche wesentlich größer ist als für den Konduktor einer Elektrisiermaschine; sie beträgt bei einer Flasche im Durchschnitt etwa 0,00004 Sek. Im allgemeinen nimmt die Funkendauer mit der Länge und dementsprechend mit dem Widerstande ...ungsbogens zu; ein großer Widerstand bei nur kurzem Schließungsbogen bewirkt jedoch ...erung der Entladung. — Der Flaschenfunke ist übrigens nur anscheinend einfach, in ... zahlreichen rasch aufeinanderfolgenden Teilfunken zusammengesetzt, wie daraus hervorgeht, ...bilder im rotierenden Spiegel aus abwechselnd helleren und dunkleren Teilen zusammen-

§. 133. Wirkungen der elektrischen Entladung. Solange sich die auf einem Leiter angesammelte Elektricität im Gleichgewicht befindet, vermag dieselbe nur eine anziehende oder abstoßende, also lediglich eine mechanische Wirkung zu äußern (s. §. 119); kommt aber die Elektricität zur Entladung, so können Wirkungen von sehr mannigfaltiger Art auftreten. Die hauptsächlichsten Wirkungen des Entladungsstromes sollen im folgenden näher betrachtet werden.

a. Physiologische Wirkungen, d. h. Wirkungen auf den menschlichen und tierischen Körper. Führt man den Entladungsschlag einer elektrischen Flasche durch den eigenen Körper, indem man etwa mit der einen Hand die äußere Belegung und hierauf mit der anderen Hand den Knopf der Flasche berührt, so empfindet man eine Erschütterung, welche sich besonders in den Hand- und Armgelenken bemerkbar macht. — Durch starke Batterieen können kleinere Tiere, wie Vögel, Katzen, getötet werden.

Der elektrische Schlag kann auch von mehreren Personen zugleich empfunden werden, wenn diese sich mit den Händen anfassen und von den beiden äußersten die eine zuerst die äußere Belegung und hierauf die andere den Knopf einer geladenen Flasche berührt.

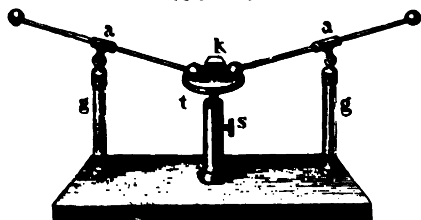
Werden frisch getötete Frösche in der Nähe des Konduktors einer Elektrisiermaschine aufgehängt, so geraten die Schenkel derselben in Zuckungen, wenn man dem Konduktor kräftige Funken entzieht, was sich daraus erklärt, daß der geladene Konduktor zunächst durch Influenz in den Froschschenkeln entgegengesetzte Elektricitäten trennt, welche dann bei einer Entladung des Konduktors sich plötzlich wieder vereinigen. Diese Erscheinung bezeichnet man als elektrischen Rückschlag.

b. Mechanische Wirkungen. Während die Elektricität solche Leiter, welche ihrer Bewegung nur einen geringen Widerstand leisten, durchströmt, ohne merkliche Spuren zu hinterlassen, wird ein schlechter Leiter von ihr durchbohrt oder zerschmettert.

Schon durch den Funken einer kleinen Maschine oder den Entladungsschlag einer kleinen Flasche läßt sich ein Kartenblatt, durch kräftige Funken ein hölzernes Brettchen oder eine Glasscheibe durchbohren. — Bemerkenswert ist der Umstand, daß bei einem Kartenblatte das entstandene Loch an beiden Seiten erhabene Ränder hat.

Wenn man ein an beiden Enden durch Korke verschließbares gläsernes Röhrchen mit Wasser füllt, in die Korke Drähte so einsenkt, daß ihre in kleine Kugeln auslaufenden Enden innerhalb der Röhre etwas von einander abstehen, und hierauf durch dieselben einen kräftigen elektrischen Schlag leitet, so wird die Röhre mit Heftigkeit zerschmettert.

(Fig. 151.)



Um den elektrischen Schlag durch einen Körper hindurch zu leiten, dient der allgemeine Auslader (von Henley). Dieser besteht aus zwei metallenen, um Scharniere beweglichen Armen aa (Fig. 151), welche von Glassäulen gg getragen werden, und einem Tischchen t, welches sich höher und niedriger stellen läßt und den Körper k trägt, durch welchen der Schlag hindurchgeführt wird, indem man den einen Arm mit der äußeren, den anderen mit der inneren Belegung einer Flasche oder Batterie verbindet.

c. Wärmewirkungen. Leicht brennbare Stoffe, wie Wasserstoffgas, Äther, Spiritus u. dergl. lassen sich durch den elektrischen Funken entzünden.

Feine Metalldrähte können, wenn man den Schlag einer größeren Flasche oder Batterie hindurch leitet, glühend oder gar geschmolzen werden und zwar unter übrigens gleichen Umständen um so eher, je kürzer und di[illegible] sind. (Vergl. §. 154.)

Eine Mischung von Wasserstoff und atmosph[illegible] verbrennt unter starker Explosion, sobald man einen, wenn auch nur sch[illegible] hindurch schlagen läßt,

[au]f die sogenannte elektrische Pistole beruht. — Leitet man den Schlag vermittelst einer [...] Leitung durch Schießpulver, so wird dieses in der Regel nur umhergeschleudert. Die Ent[zündu]ng gelingt leichter, wenn man in den Schließungsbogen einen unvollkommenen Leiter, z. B. einen [befe]uchteten Bindfaden, einschaltet, indem hierdurch die Dauer der Entladung vergrößert wird [(sieh]e vorig. §.). — Sehr leicht entzündet der elektrische Funke eine Mischung von chlorsaurem Kali [und] Schwefelantimon, welche unter heftiger Explosion verbrennt. (Dieselbe kann sich übrigens schon [durch] bloßes Reiben oder Stoßen entzünden!)

Die Wärmewirkung des elektrischen Schlages findet Anwendung zur gefahrlosen Entzündung [der] Minen beim Sprengen. Indem in die für diesen Zweck bestimmten Patronen Drähte eingelassen [sind,] deren innere Enden sich in geringem Abstande gegenüberstehen, kann man den Schlag einer [elektr]ischen Flasche vermittelst einer isolierten Drahtleitung aus großer Entfernung durch die Patrone [hindu]rchleiten. Als Zündmasse verwendet man dabei gewöhnlich die vorstehend erwähnte Mischung [von] chlorsaurem Kali und Schwefelantimon.

d. Lichtwirkungen. Der elektrische Funke ist bei geringer Schlagweite gerad[linig]; längere Funken beschreiben eine gebrochene (Zickzack-) Linie.

Setzt man auf den Konduktor einer Elektrisiermaschine einen metallenen Stift, [so s]ieht man im Dunkeln beim Umdrehen des Reibers die Elektricität aus dem Stifte [in e]inem leuchtenden Strahlenbüschel ausströmen.

Führt man den Entladungsschlag einer Flasche durch eine Leitung, welche an mehreren Stellen [...]e Unterbrechungen hat, z. B. durch eine sogenannte Blitztafel, bei welcher ein auf eine Glastafel [aufg]eklebter Stanniolstreifen an mehreren Stellen kleine Lücken hat, so erscheinen alle unterbrochenen [Stel]len leuchtend.

Bei dem mit einem mehr oder weniger heftigen Knall verbundenen Funken durchbricht die [Elek]tricität die Luft im plötzlichen Übergange; bei dem nur von einem schwachen Knistern begleiteten Büschellicht strömt sie dagegen allmählich in die umgebende Luft über. Beim Ausströmen negativer Elektricität ist das Büschellicht kleiner als beim Ausströmen positiver. Dasselbe zieht sich an seinen Spitzen, namentlich bei negativer Elektricität, in einen ruhig leuchtenden Lichtpunkt, das Glimmlicht, zusammen. Überhaupt findet zwischen den erwähnten drei Hauptarten von elektrischen Lichterscheinungen: dem Funken, dem Büschellicht und dem Glimmlicht, ein mannigfaltiger Wechsel und Übergang statt. So geht z. B. der Funke zwischen den Konduktoren einer Influenzmaschine, wenn man dieselben allmählich weiter von einander entfernt, in knisterndes Büschellicht über. — Sehr schön läßt sich das Büschel- und Glimmlicht auch an den Einsaugern der Influenzmaschine wahrnehmen.

(Fig. 152.)



In verdünnter Luft, wie überhaupt in verdünnten Gasen, ist die Schlagweite des elektrischen Funkens größer als in Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit. Bei höheren Graden der Verdünnung findet der Übergang der Elektricität schon auf große Entfernung statt, aber nicht mehr in einzelnen Funken, sondern in ausgebreiteten Strahlenbüscheln.

Um diese Erscheinung zu zeigen, bedient man sich eines Apparates (Fig. 152), welcher elektrisches Ei genannt wird. Derselbe besteht aus einem bauchig gestalteten Glasgefäße, welches an seinen Enden mit metallenen Fassungen a und b versehen ist, deren eine a sich auf eine Luftpumpe aufschrauben und durch einen Hahn verschließen läßt. In das Innere ragen zwei Metallstangen, welche in Kugeln endigen. Die eine der Stangen c steht mit der [Fas]sung a in leitender Verbindung; die andere d läßt sich in der Fassung b luftdicht auf und [nied]er bewegen, sodaß die Kugel dieser Stange der anderen Kugel beliebig genähert oder von ihr

entfernt werden kann. — Bringt man nun, nachdem die Luft im Innern stark verdünnt worden ist, die Fassung a mit der Erde in leitende Verbindung und nähert das äußere Ende der Stange d dem Konduktor einer Elektrisiermaschine, so sieht man im Dunkeln jedesmal beim Hervorbrechen eines Funkens aus dem Konduktor die Elektricität zwischen den Kugeln in Gestalt breiter Lichtbänder überströmen. Die Erscheinung ändert sich mit dem Grade der Verdünnung.

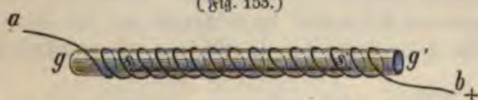
Ebenso sieht man die sogenannte Torricellische Leere bei einer Schwankung des Barometers im Dunkeln leuchten.

e. Chemische Wirkungen. In der Nähe einer thätigen Elektrisiermaschine bemerkt man einen eigentümlichen Geruch. Derselbe rührt von Ozon (§. 82, Anm.) her, in welches die Elektricität den Sauerstoff der Luft beim Durchgange durch dieselbe umwandelt. Die Bildung von Ozon ist besonders stark an Spitzen, durch welche die Elektricität ausströmt.

Zum Nachweise des Ozons kann man ein Stückchen Papier, welches mit Jodkaliumkleister bestrichen ist, einer an dem Konduktor befindlichen Spitze gegenüberhalten; dasselbe wird dann bei Drehung der Maschine durch die Einwirkung des entstehenden Ozons gebläut (s. §. 99).

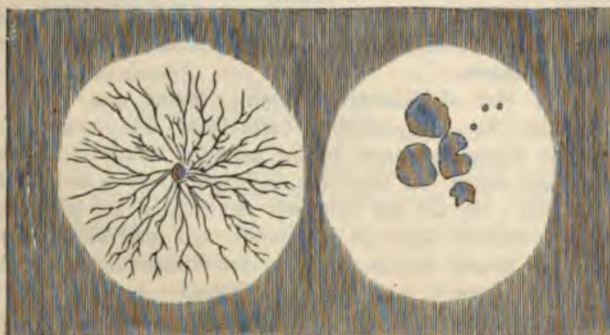
f. Magnetische Wirkungen. Wenn man einen Draht in isolierten Windungen um eine Stahlnadel herumführt, indem man etwa die Nadel, wie Fig. 153 zeigt, in eine Glasröhre legt, um welche der Draht in getrennten Windungen herumläuft, so wird die Nadel magnetisch, sobald man durch den Draht den Entladungsschlag einer elektrischen Flasche hindurchgehen läßt. (S. auch §. 156.)

(Fig. 153.)



Auf die Stärke der Entladungswirkungen ist von wesentlichem Einfluß die Spannung der Elektricität an der Entladungsstelle sowie die Menge der überströmenden Elektricität und zwar je nach der Art der Wirkungen in verschiedenem Grade. Manche Wirkungen, wie z. B. die mechanischen, bei denen es sich um Durchbohrung eines schlechten Leiters handelt, erfordern eine besonders hohe Spannung, andere dagegen, wie die Wärme- und Lichtwirkungen, hauptsächlich große Mengen von Elektricität. Nun nimmt der Konduktor einer Reibungselektrisiermaschine nur verhältnismäßig wenig Elektricität auf, die aber eine hohe Spannung erlangen kann; in einer elektrischen Flasche lassen sich dagegen große Elektricitätsmengen von geringer Spannung ansammeln, die bei einer Entladung plötzlich zum Ausgleich kommen; die Influenzmaschine aber gestattet große Elektricitätsmengen von geringer Spannung in einem andauernden Funkenstrome zu entwickeln. Hieraus erklären sich manche Verschiedenheiten, welche hinsichtlich der Entladungswirkungen auftreten, wie z. B. die folgenden: — Eine Reibungselektrisiermaschine liefert lange aber dünne und lichtschwache Funken; dagegen sind die Funken einer elektrischen Flasche kurz, aber dick und hellglänzend. Der Funke einer kräftigen Maschine durchbohrt eine Glasplatte in einem feinen Loch; bei Anwendung einer Batterie wird die Platte gewöhnlich zertrümmert. Um starke Wärmewirkungen hervorzurufen, z. B. dünne Drähte zu schmelzen, hat man den Entladungsstrom der elektrischen Flasche anzuwenden u. a. m.

(Fig. 154.)



In einigen wenigen Fällen zeigen die positive und negative Elektricität hinsichtlich ihrer Wirkungen ein verschiedenes Verhalten, wie wir dies z. B. oben (d) beim Ausströmen der Elektricität aus Spitzen gesehen haben. Hierher gehört auch der folgende Versuch: Wenn man eine Hartgummiplatte an einer Stelle positiv, an einer anderen negativ elektrisiert, indem man sie an der ersteren mit dem

Knopfe einer positiv geladenen, an der anderen mit dem Knopfe einer negativ geladenen Flasche berührt, und wenn man dann die Platte mit einem feinen Pulver, z. B. Hexenmehl (Bärlappsamen), überpudert, so entstehen an den positiv elektrisierten Stellen strahlige, an den negativ elektrisierten rundliche Figuren, wie Fig. 154 zeigt. Diese Figuren sind zuerst von Lichtenberg (1777) dargestellt worden und werden daher auch Lichtenbergische Figuren genannt. Bei gleicher Stärke der Ladung hat die positive Figur einen größeren Umfang als die negative.

§. 134. Elektrische Energie. Hebt man bei einem Elektrophor (§. 126) den auf dem Kuchen liegenden Deckel in die Höhe, so hat man, wie überhaupt beim Heben eines schweren Körpers, zur Überwindung der Schwere Arbeit zu leisten, mag nun der Kuchen elektrisch oder unelektrisch sein. Wenn man aber, um Elektricität zu entwickeln, vorher den Kuchen elektrisch macht und den Deckel ableitend berührt, so ist außer dem Gewichte des Deckels auch noch die Anziehung zwischen der Elektricität des Kuchens und der von ihr gebundenen Elektricität des Deckels zu überwinden. Ohne diese letztere Arbeitsleistung entsteht in dem abgehobenen Deckel keine freie Elektricität; insbesondere bleibt der Deckel unelektrisch, wenn man die abgestoßene Influenzelektricität vorher nicht fortleitet, weil dann keine Anziehung entgegengesetzter Elektricitäten zu überwinden ist. Wir ersehen hieraus, daß die Erzeugung von Elektricität vermittelst eines Elektrophors außer der Arbeit, welche durch die äußere Einrichtung des Apparates bedingt wird, noch eine besondere Arbeit erfordert, die lediglich zur Hervorrufung der Elektricität aufzuwenden ist. — Ähnliches gilt bei der Entwicklung von Elektricität durch Reibung; erfahrungsmäßig ist das Aneinanderreiben zweier Körper mit einem Aufwande von Arbeit verbunden, von welcher ein Teil für die Elektricitätserregung verbraucht wird.

Andererseits hat ein elektrischer Körper die Fähigkeit erlangt, ungleichnamig elektrische Körper anzuziehen, gleichnamig elektrische abzustoßen, also Arbeit zu leisten. Ferner wissen wir, daß die Elektricität auch bei der Entladung Arbeiten der verschiedensten Art zu verrichten imstande ist, sei es nun, daß sie etwa beim Durchbohren eines schlechten Leiters entgegenstehende Massen fortschleudert oder daß sie Schall, Wärme und Licht erzeugt u. a. m.

Wir schließen daher, daß bei der Elektricitätsentwicklung durch Reibung oder Influenz mechanische Arbeit oder Energie (§. 45) in eine andere Arbeitsform, in elektrische Energie umgewandelt und als solche in dem mit der erregten Elektricität geladenen Körper aufgespeichert wird. Überhaupt beruht jede Elektricitätserregung, von welcher Art dieselbe auch immer sein mag, auf einer Umwandlung von Energie irgend welcher Form in elektrische.

Bei der Entladung eines elektrischen Körpers wird die Energie desselben zur Verrichtung mannigfacher Arbeiten verbraucht; doch tritt dann immer Arbeitsvorrat in neuen Formen wieder auf, sei es nun als Energie bewegter Massen oder als Schall, als Wärme, als Licht u. a. m. Wir schließen daraus, daß auch bei der Entladung eines elektrischen Körpers die ursprünglich in demselben vorhandene Energie nur in eine andere Form von Arbeitsvermögen umgesetzt und auf andere Körper übertragen wird. Es besteht demnach die elektrische Entladung ebenfalls wesentlich in einer Umwandlung von Energie.

Daß bei einem Elektrophor die Arbeit, welche für gewöhnlich beim Abheben des Deckels durch das Gewicht desselben veranlaßt wird, nicht wesentlich für die Elektricitätsentwickelung ist, wird anschaulich klar, wenn man sich den Deckel an das eine Ende eines zweiarmigen Hebels aufgehängt und durch ein Gegengewicht am anderen Ende ins Gleichgewicht gebracht denkt, indem die erwähnte Arbeit unter diesen Verhältnissen ganz fortfällt.

In gleicher Weise wie bei dem Elektrophor wird die Elektricität bei der Influenzmaschine durch Aufwendung von mechanischer Arbeit erzeugt. Der Arbeitsverbrauch läßt sich bei dieser insbesondere durch einen Versuch deutlich wahrnehmen. Dreht man nämlich die bewegliche Scheibe, so zeigt sich, daß man zur Erhaltung einer gleichmäßigen Bewegung eine größere Kraft anzuwenden hat, sobald die Maschine durch Ladung eines Beleges elektrisch erregt worden ist.

Besonders lehrreich ist noch der folgende Versuch: — Schickt man den Strom einer Influenzmaschine in eine zweite derselben Art, indem man die Konduktoren der einen mit denen der anderen leitend verbindet, so gerät die bewegliche Scheibe der zweiten Maschine ebenfalls in Bewegung. Es wird hier also durch die Elektricität, welche in der ersten Maschine unter Aufwendung von mechanischer Arbeit erregt worden ist, die gleiche mechanische Energie in der zweiten Maschine hervorgerufen; es findet mit anderen Worten eine *elektrische Kraftübertragung* statt (vergl. auch unten §. 163). — Zum Gelingen des Versuches muß man vorher in der zweiten Maschine, um die Reibung möglichst zu vermindern, den Schnurlauf von der Drehungsachse ablösen.

Hinsichtlich der Elektricitätserregung durch Reibung bemerken wir noch, daß sich hierbei der größte Teil der aufzuwendenden Arbeit in Wärme und nur ein kleiner Teil in elektrische Energie umsetzt (vergl. unten §. 253, a).

§. 135 (125). **Elektrische Natur des Gewitters.** Die Erscheinungen und Wirkungen des elektrischen Funkens zeigen mit denen des Blitzes eine solche Übereinstimmung, daß den Physikern nach Erfindung der Elektrisiermaschine und der elektrischen Flasche kaum noch ein Zweifel über die elektrische Natur des Gewitters bleiben konnte. Den direkten Nachweis für die Richtigkeit dieser Behauptung hat insbesondere *Franklin* in Nordamerika (1752) geführt, indem er den kühnen Versuch unternahm, die Elektricität der Gewitterwolken unmittelbar zur Erde nieder zu leiten. Zu diesem Zweck ließ er bei einem herannahenden Gewitter einen Drachen (Windvogel) emporsteigen, an welchem oben eine metallene Spitze befestigt war. Das Ende der Schnur, welches er in der Hand hielt, war von Seide, und an der übrigens hänfenen Schnur selbst war ein Schlüssel angehängt. Als die Gewitterwolke nun näher kam, bemerkte Franklin, daß einige lose Fäden an der hänfenen Schnur sich emporsträubten, und als er dem Schlüssel den Finger näherte, erhielt er elektrische Funken, welche noch lebhafter wurden, nachdem herabfallender Regen die Schnur naß und so zu einem besseren Leiter gemacht hatte.

Dieser gefährliche Versuch Franklins ist später von anderen ebenfalls angestellt worden. Indem man dabei eine von einem Draht durchzogene Schnur anwandte und das Ende derselben mit einem Konduktor verband, gelang es, demselben meterlange Funken zu entziehen.

§. 136, a. **Blitz und Donner.** Der Blitz entsteht wie der *elektrische Funke durch die Vereinigung entgegengesetzter Elektricitäten.* — Die Blitze gehen teils von einer Wolke zur anderen über, teils von der Gewitterwolke zur Erde. Von den letzteren sagt man: sie schlagen ein. Von den einschlagenden *Blitzen* heben wir insbesondere noch folgendes hervor … Elektricität einer Gewitterwolke da, wo diese über dem Erdboden schw… tricitäten

des letzteren einwirkt, häuft sich die entgegengesetzte Elektricität an dem der Wolke zunächst gelegenen Teile des Erdbodens an. Dabei ist zu beachten, daß die Elektricitäten hauptsächlich nur in den auf der Erde befindlichen guten Leitern getrennt werden. Steine und trockenes Erdreich sind aber schlechte Leiter; derjenige gute Leiter, welcher auf der Erde in ausgedehnten Massen vorkommt, ist das Wasser und zwar dasjenige, welches den Erdboden als Grundwasser durchzieht. Das Grundwasser ist daher als das eigentliche Ziel des Blitzes (als der eine Endpunkt seiner Bahn) anzusehen. Nachdem der Blitz den mit dem Grundwasser in Verbindung stehenden feuchten Erdboden erreicht hat, hören alle Wirkungen desselben auf, während er oft kurz vorher noch die größten Verheerungen anrichtete.

In das Grundwasser nimmt der Blitz einen solchen Weg, auf welchem die Summe der zu überwindenden Leitungswiderstände am kleinsten ist. Er folgt daher vorzüglich den guten Leitern, besonders den Metallen, und trifft vorzugsweise die höchsten (als die der Gewitterwolke nächsten) Gegenstände.

An schlechten Leitern bezeichnet der Blitz seine Bahn durch mannigfache Verletzungen (Zerschmetterung, Entzündung u. dgl.); an guten Leitern, welche eine hinreichende Stärke haben, geht er ohne erhebliche Verletzung hin, ja oft ohne eine Spur seines Weges zurückzulassen.

Der Donner ist als dasselbe im großen anzusehen, was der den elektrischen Funken unserer Maschinen oder Flaschen begleitende Knall im kleinen ist. Das Rollen des Donners wird teils durch Zurückwerfen des Schalles in den Wolken oder an Gegenständen auf der Erde hervorgebracht, weshalb dasselbe auch in Gebirgen stärker als in der Ebene vernommen wird; teils entsteht dasselbe dadurch, daß der Schall, welchen der Blitz an verschiedenen Stellen seiner Bahn in der Luft erregt, wegen der ungleichen Entfernung dieser Stellen vom Ohre des Beobachters zu verschiedener Zeit bei demselben anlangt.

Abgesehen von selteneren Formen des Blitzes unterscheidet man Linien- oder Zickzackblitze, welche ganz mit dem Funken eines Konduktors übereinstimmen, und Flächenblitze, welche nur zwischen Wolken übergehen, die sie bei Dunkelheit ganz erleuchten, und mit aus Spitzen hervorbrechenden elektrischen Lichtbüscheln zu vergleichen sein dürften. — Die Zahl der Flächenblitze übertrifft die der Zickzackblitze sehr bedeutend; sie sind gewöhnlich nur von einem schwachen Donner begleitet.

Bei Dunkelheit sieht man öfters hellleuchtende Blitze ohne eigentlichen Lichtstrahl und ohne Donner. Man nennt diese Erscheinung Wetterleuchten. Dasselbe kann teils von Flächenblitzen herrühren, teils durch den Wiederschein solcher Blitze am Himmel entstehen, welche von Wolken unter dem Horizont ausgehen.

Von Wirkungen einschlagender Blitze führen wir noch die folgenden an: Nach einem in der Nähe niederfahrenden Blitzstrahle nimmt man einen eigentümlichen Geruch wahr, welcher von Beobachtern häufig als Schwefelgeruch bezeichnet wird; derselbe rührt von dem durch den Blitz gebildeten Ozon (§. 133, e) her.

Wenn der Blitz in sandiges Erdreich einschlägt, so werden die Quarzkörner des Sandes geschmolzen, wodurch die sogenannten Blitzröhren entstehen, welche oft eine Länge von vielen Metern erreichen.

Zuweilen haben Menschen, in deren Nähe ein Blitzstrahl niederfuhr, eine elektrische Erschütterung empfunden, ohne selbst vom Blitze getroffen zu sein. Es erklärt sich diese Erscheinung als Wirkung des elektrischen Rückschlages (§. 133, a). — Hierzu fügen wir noch hinzu, daß während eines Gewitters in den Leitungsdrähten der Telegraphen elektrische Erscheinungen beobachtet werden

Um die Gefahr, vom Blitze erschlagen zu werden, zu vermindern, kann man während eines Gewitters folgende Regeln beobachten. Man hüte sich besonders, in einer unterbrochenen Leitung die vorhandenen Lücken mit seinem Körper auszufüllen. Gefährlich sind z. B. Stellen unter Gasleitungen, unter Kronleuchtern, ferner in der Küche unter dem Rauchfang, da der Ruß im Schornstein ein ziemlich guter Leiter ist. Es sind an diesen Stellen wirklich häufig Menschen vom Blitze getötet worden. Überhaupt ist die Nähe größerer Metallmassen zu vermeiden. — Daß im Freien viele Menschen unter Bäumen, Heuhaufen u. dgl. erschlagen worden sind, ist bekannt; andererseits kann es aber auch Gefahr bringen, im flachen Felde der höchste Gegenstand zu sein; besser ist es, sich in der Nähe eines hohen Baumes, doch mehrere Schritt von den längsten Zweigen entfernt, zu befinden.

Bei Dunkelheit bemerkt man zuweilen während eines Gewitters oder überhaupt bei einem stark elektrischen Zustande der Luft, daß die Spitzen hoher Gegenstände wie Türme, Masten, Bäume u. dgl. leuchten. Man nennt diese Erscheinung, welche offenbar durch das Ausströmen der Elektricität aus Spitzen hervorgebracht wird, St. Elmsfeuer. Dasselbe zeigt sich zuweilen auch an Gegenständen, welche nur eine geringe Höhe haben. Man kennt Fälle, daß Personen, welche sich im Freien befanden, während eines stark elektrischen Zustandes der Luft an den Rändern ihrer Hüte, den Ohren ihrer Pferde, an Gesträuchen u. a. m. Lichterscheinungen bemerkten, welche mit einem schwachen Geräusche verbunden waren.

§. 136, b. Blitzableiter. Der Blitzableiter hat die Bestimmung, Gebäude vor der Gefahr eines Blitzschlages dadurch zu schützen, daß er dem Blitze eine zusammenhängende und hinreichend starke metallische Leitung von dem höchsten Punkte des zu schützenden Gebäudes bis in die Erde darbietet. Zu dem Zweck ist der Blitzableiter aus drei Teilen zusammengesetzt: der Auffangestange, der Ableitung zur Erde und der Erdleitung. Die Auffangestange, welche auf dem Dache des Gebäudes errichtet wird, besteht aus Eisen und endet oben in eine Spitze, welche aus einem edlen Metalle (gewöhnlich Silber oder Platin) hergestellt ist, da der Blitzableiter insbesondere an der Stelle, wo er den Blitz aufnehmen soll, gut leitend, also rein metallisch sein muß, Eisen aber leicht rostet. Von der Auffangestange führt die Ableitung, welche aus Streifen oder Drahtseilen von Eisen oder Kupfer gebildet wird, über das Dach und an dem Gebäude herab auf möglichst kurzem Wege in den Erdboden. Die Erdleitung schließlich endet in eine große metallene Platte, welche den Zweck hat, der Elektricität ein leichtes Überströmen in die Erde zu ermöglichen. Diese Endplatte muß möglichst bis in eine Tiefe versenkt werden, wo das Erdreich auch in der trockensten Jahreszeit durch Verbindung mit dem Grundwasser beständig feucht bleibt (s. d. vorig. §.). Ein Blitzableiter gewährt keine ausreichende Sicherheit, wenn die angegebene Bedingung nicht erfüllt ist.

Der Blitzableiter erfüllt seine Aufgabe nicht nur dadurch, daß er dem niederfahrenden Blitzstrahle eine gute Leitung in die Erde gewährt, sondern auch zum nicht geringen Teile dadurch, daß er aus den über ihn hinschwebenden Gewitterwolken Elektricität auffaugt (s. §. 125, b) und so durch eine allmähliche Entladung der Gewitterwolke häufig einen eigentlichen Blitzschlag verhütet.

Die Spitze des Blitzableiters zu vergolden, hat sich nicht sonderlich bewährt, da der dünne Goldüberzug durch einen kräftigen Blitzstrahl geschmolzen werden kann. Gewöhnlich nimmt man eine Spitze aus massivem Silber, welches von allen Metallen die Elektricität am besten leitet, oder man umgiebt die eiserne Spitze mit einer Hülse aus Platin, welches von allen Metallen am schwersten schmelzbar ist. — Die Erfahrung lehrt, daß die Auffangestange etwa den Raum eines geraden Kegels schützt, welcher die Stange zur Höhe und die doppelte Länge derselben zum Halbmesser der Grundfläche hat. Ein langes Gebäude wird also mehrere Auffangestangen erfordern, welche dann nicht nur unter sich leitend zu verbinden sind, sondern auch r ' nötig machen. — Die Endplatten sollen

eine Oberfläche von mehreren Quadratmetern haben; sie werden, wenn möglich, am besten in einen Brunnen, einen Teich oder einen Fluß versenkt. — Größere Metallmassen an den Gebäuden, metallene Rinnen, Gas- und Wasserleitungsröhren u. s. w. müssen mit dem Blitzableiter leitend verbunden werden.

Der Blitzableiter ist zuerst von Franklin bald nach Anstellung seines in §. 135 beschriebenen Versuches (1753) in Vorschlag gebracht worden.

*§. 137 (134.) **Luftelektricität.** Wenn man an dem oberen Ende einer Stange, welche in die freie Luft hinausragt, eine isolierte Metallspitze befestigt und von dieser einen Draht zu einem empfindlichen Elektroskop herabführt, so kann man beobachten, daß die Luft zu allen Zeiten elektrische Erscheinungen zeigt, wenn auch für gewöhnlich nur in sehr geringem Grade. Das Elektroskop giebt dabei unmittelbar die von der Saugspitze aufgenommene Luftelektricität an.

In neuerer Zeit wird der elektrische Zustand der Luft gewöhnlich auf folgende Weise untersucht: Anstatt der Saugspitze befestigt man an das obere Ende der Stange eine isolierte Metallkugel; indem man nun diese Kugel zunächst mit der Erde in leitende Verbindung bringt, wird sie durch Influenz von seiten der in ihrer Umgebung vorhandenen Luftelektricität mit entgegengesetzter Elektricität geladen, welche sich dann untersuchen läßt, wenn man die Verbindung der Kugel mit der Erde wieder aufhebt und die so isolierte Kugel herabnimmt.

Derartige Beobachtungen haben ergeben, daß die Elektricität der Luft bei heiterem Himmel in der Regel positiv ist und zwar im Winter, überhaupt bei niedriger Temperatur stärker als im Sommer und bei höherer Temperatur. Der elektrische Zustand der Luft ist übrigens sehr veränderlich; besonders bei einem Gewitter zeigt das Luftelektroskop mehrfachen Wechsel von positiver und negativer Elektricität.

Die Ursache der Luftelektricität ist zur Zeit noch nicht ermittelt. Ebenso wenig ist bislang mit Sicherheit bekannt, wodurch von Zeit zu Zeit eine so gewaltige Anhäufung der Luftelektricität in den Gewitterwolken hervorgerufen wird.

Bei Betrachtung der Umstände, unter denen die Gewitter erscheinen, zeigt sich, daß dieselben in warmer, wasserdampfreicher Luft entstehen, und daß dem Gewitter selbst eine rasche und starke Wolkenbildung voran geht. Indem so die in der Luft enthaltenen durchsichtigen Dämpfe sich zu Wolken verdichten, häuft sich zugleich in diesen Elektricität in um so größerer Menge an, je reichlicher und rascher die Kondensation erfolgt. Hiernach ist die Verdichtung der in der Luft enthaltenen Dämpfe jedenfalls als eine Bedingung der Anhäufung der Luftelektricität und der Entstehung des Gewitters anzusehen.

Aus dem Vorstehenden erklärt sich auch die größere Häufigkeit der Gewitter in den heißen Stunden des Tages, im Sommer und in den wärmeren Gegenden, indem die Luft bei hoher Temperatur eine sehr große Menge von Dämpfen zu fassen vermag, welche dann bei einer Abkühlung reichliche Niederschläge hervorbringt.

Zu den obigen Angaben fügen wir nur noch hinzu, daß die atmosphärischen Niederschläge, Regen, Schnee, besonders Hagel, fast immer elektrisch sind, zuweilen in solchem Maße, daß die Regentropfen oder Hagelkörner beim Aufschlagen auf den Boden leuchten.

*§. 138. **Nordlicht.** Ebenso wie die Gewitter müssen auch die Nordlichter zu den elektrischen Naturerscheinungen gezählt werden. Sie zeigen sich besonders häufig in einer Zone, welche den nördlichen Magnetpol der Erde umgiebt. Mit der Entfernung von dieser Zone nimmt die Häufigkeit und der Glanz der Nordlichter ab. — Auf der südlichen Erdhälfte zeigen sich in ähnlicher Art Südlichter. Beide Erscheinungen bezeichnet man mit gemeinsamem Namen als Polarlichter.

Das Nordlicht erscheint bei Dunkelheit am Himmel und zwar in unseren Gegenden als ein hellleuchtender bogenförmiger Streifen, welcher einen dunklen Kreisabschnitt (Segment) am nördlichen Horizont umschließt; sein Mittelpunkt liegt unter dem Horizont im magnetischem Meridian. Von diesem Lichtbogen gehen blaßgelbe (zuweilen auch rot und grün gefärbte) mehr oder weniger breite Lichtstrahlen aus, welche in mannigfachem, oft sehr raschem Wechsel bald länger, bald kürzer werden und selbst bis über das Zenith sich hinaus erstrecken können. An der scheinbaren Drehung des Himmels (der Sterne) nimmt die Erscheinung nicht teil; sie folgt also der Achsendrehung der Erde, woraus hervorgeht, daß sie der Atmosphäre der Erde angehört.

Während eines Nordlichtes zeigt die Magnetnadel unregelmäßige Schwankungen (s. auch §. 114).

Ohne Zweifel ist wohl das Nordlicht als eine elektrische Erscheinung aufzufassen. Ähnlich wie wir elektrische Lichterscheinungen im luftverdünnten Raume (s. §. 133 und §. 161, Anm.) hervorrufen, dürfte das Nordlicht durch elektrische Ausströmungen in den verdünnten höhern Luftschichten entstehen. Der Ursprung dieser Elektricität ist uns aber bislang nicht mit Sicherheit bekannt.

Bei sehr starken Nordlichtern vereinigen sich die Strahlen jenseits des Zeniths wieder zu einer hellen Lichterscheinung, der Krone. Die Verbindungslinie dieser Stelle mit dem unter dem Horizont gelegenen Mittelpunkte des Nordlichtbogens ist der Inklinationsnadel parallel. Gleiches gilt auch in Wirklichkeit von den Lichtstrahlen, welche sich nur infolge perspektivischer Wirkung radienartig von dem Bogen auszubreiten und in der Krone wieder zu vereinigen scheinen.

Hinsichtlich ihrer Häufigkeit und Stärke zeigen die Nordlichter eine mittlere 11 jährige Periode (s. auch §. 114).

B. Galvanische Elektricität (Galvanismus).

§. 139. **Galvanische Grunderscheinungen.** In ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure seien eine Kupfer- und eine Zinkplatte so eingetaucht, daß die beiden Metalle sich selbst in keinem Punkte berühren (Fig. 155). Untersucht man dann die aus der Flüssigkeit hervorragenden Enden der Metalle vermittelst eines empfindlichen Elektroskops (unter Anwendung eines Kondensators, §. 131), so zeigt sich, daß das Kupfer positiv, das Zink in demselben Maße negativ elektrisch geworden ist. Sehr sorgfältige Untersuchungen ergeben, daß im allgemeinen, wenn Metalle mit gewissen Flüssigkeiten, wie Wasser, Säuren, Auflösungen von Salzen, in Berührung kommen, eine Elektricitätserregung stattfindet, indem der eine von den sich berührenden Körpern in sehr geringem Grade positiv, de[...] negativ elektrisch wird, vorausgesetzt, daß beide Körper dabei isolie[...] [...]rung schreibt man einer

(Fig. 155.)



besonderen, bei der gegenseitigen Berührung der betreffenden Körper sich äußernden Kraft zu, welche elektromotorische Kraft genannt wird. Indem dieselbe da, wo die Körper sich berühren, entgegengesetzte Elektricitäten trennt, positive auf den einen, negative auf den anderen Körper treibt und deren Wiedervereinigung durch die Berührungsstelle hindurch trotz der übrigens leitenden Verbindung hindert, erzeugt sie, wenn beide Körper isoliert sind, auf dem einen einen positiven, auf dem anderen einen ebenso großen negativen Elektricitätsgrad (§. 128). Der Unterschied der Elektricitätsgrade beider Körper, ihre Potentialdifferenz oder kurz ihre elektrische Differenz ist ein Maß für die Größe der elektromotorischen Kraft.

Wiederholt man den obigen Versuch in der Weise, daß man die Metallplatten mehr oder weniger tief in die Flüssigkeit eintaucht, so erhält man am Elektroskop doch wieder denselben Ausschlag, woraus hervorgeht: die elektromotorische Kraft (elektrische Differenz) ist unabhängig von der Größe der Berührungsfläche. — Andererseits ist sie wesentlich durch die Natur der sich berührenden Körper bedingt. In den meisten Fällen zeigt sich das Metall negativ, die Flüssigkeit positiv elektrisch. Am stärksten negativ wird unter den bekannteren Metallen das Zink, besonders in verdünnten Säuren; erheblich geringer ist die Erregung beim Kupfer, noch schwächer beim Platin. Ähnlich wie Platin verhält sich ferner noch ein nicht metallischer Körper, die Kohle.

Obwohl hiernach Kupfer ebenso wie Zink in verdünnter Schwefelsäure negativ elektrisch erregt wird, so zeigt doch, wie wir oben gesehen haben, beim gleichzeitigen Eintauchen beider Metalle nur das Zink negative Elektricität, das Kupfer dagegen positive. Dies findet seine Erklärung folgendermaßen: — Indem das Zink und die Schwefelsäure sich gegenseitig elektrisch erregen, wird negative Elektricität in die Zinkplatte, positive in die Schwefelsäure und von dieser auch auf die eingetauchte Kupferplatte getrieben. Andererseits geht infolge der elektrischen Erregung zwischen dem Kupfer und der Schwefelsäure negative Elektricität in die Kupferplatte, positive in die Schwefelsäure und von dort auf die Zinkplatte über. Da aber die elektromotorische Kraft von Zink und Schwefelsäure bei weitem stärker ist, als diejenige von Kupfer und Schwefelsäure, so wird die durch erstere hervorgerufene Ladung der Kupfer- und der Zinkplatte durch die Wirkung der letzteren nur unbedeutend verringert, also nicht wesentlich geändert. Der Einfachheit halber können wir daher von der Erregung zwischen dem Kupfer und der Schwefelsäure ganz absehen und dem Kupfer bei dem obigen Versuche lediglich die Bedeutung beimessen, daß es die positive Elektricität aufzunehmen hat, welche infolge der Erregung zwischen dem Zink und der Schwefelsäure in die letztere überströmt. — Allgemein gilt der Satz: Wenn man in eine Flüssigkeit (z. B. verdünnte Schwefelsäure) zwei Metalle, welche durch dieselbe ungleich elektrisch erregt werden (z. B. Kupfer und Zink), so eintaucht, daß diese sich selbst in keinem Punkte berühren, so zeigt das stärker erregte (Zink) am hervorragenden Ende negative, das schwächer erregte (Kupfer) positive Elektricität.

Die Elektricität, welche sich bei der gegenseitigen Berührung gewisser Körper entwickelt, wird häufig nach dem äußeren Merkmale ihrer Entstehung als Berührungs-

elektricität bezeichnet. Die Kenntnis derselben verdanken wir den Untersuchungen des italienischen Physikers **Volta**, welcher zu denselben am Ende des vorigen Jahrhunderts durch eine zufällige Beobachtung des italienischen Arztes **Galvani** veranlaßt wurde. Nach letzterem führt die Berührungselektricität gewöhnlich den Namen **galvanische Elektricität** (**Galvanismus**).

Um die Elektricität auf den in verdünnte Säure getauchten Platten aus Kupfer und Zink vermittelst eines mit einem Kondensator versehenen Elektroskops (§. 131) nachzuweisen, kann man folgendermaßen verfahren: — Zunächst verbindet man das eine Metall mit der Kollektorplatte, das andere mit der Kondensatorplatte durch isolierte Drähte, nimmt darauf die letzteren wieder fort und hebt nun die Kondensatorplatte ab, worauf die Blättchen im Elektroskop mit positiver oder negativer Elektricität auseinandergehen, je nachdem die Kollektorplatte mit dem Kupfer oder dem Zink verbunden war. — Ein größerer Ausschlag entsteht, wenn man das eine Metall zur Erde ableitet und dann das andere mit der Kollektorplatte verbindet, während man die Kondensatorplatte ableitend berührt. Durch Ableitung des einen Metalles wird nämlich, wie wir gleich sehen werden, der Elektricitätsgrad auf dem anderen verdoppelt.

Hinsichtlich der elektromotorischen Kraft bemerken wir noch folgendes: — Indem dieselbe zwischen den sich berührenden Leitern stets eine bestimmte elektrische Differenz aufrecht zu erhalten sucht, ruft sie, wenn der Elektricitätsgrad auf dem einen der Leiter geändert wird, ihrerseits auch auf dem anderen eine solche Änderung im Elektricitätsgrade hervor, wie sie zur Wiederherstellung der elektrischen Differenz erforderlich ist. Nehmen wir z. B. an, es sei bei zwei in verdünnte Säure getauchten, übrigens isolierten Platten aus Kupfer und Zink der Elektricitätsgrad auf der ersteren $= + 50$, auf der letzteren demnach $= - 50$, die elektrische Differenz der Verbindung also $= 100$. Wird dann das Zink mit der Erde ableitend verbunden, sodaß sein Elektricitätsgrad auf 0 sinkt, so steigt er beim Kupfer auf $+ 100$; leitet man umgekehrt das Kupfer zur Erde ab, so nimmt dieses den Grad 0 an, das Zink dagegen den Grad $- 100$. Würde man dem Zink durch Verbindung mit einer Elektricitätsquelle soviel positive Elektricität zuführen, daß der Elektricitätsgrad desselben dadurch auf $+ 200$ stiege, so würde er beim Kupfer auf $+ 300$ anwachsen u. s. w.

Die elektrische Erregung zwischen einem Metall und einer Flüssigkeit läßt sich unmittelbar durch den folgenden Versuch zeigen: — Auf ein sehr empfindliches Elektroskop wird statt des Knopfes eine Zinkplatte (als Kollektorplatte) aufgeschraubt, auf diese sodann eine recht dünne Glastafel und auf letztere eine mit verdünnter Schwefelsäure getränkte Scheibe aus Fließpapier (als Kondensatorplatte) gelegt. Verbindet man nun die Zinkplatte mit dem Fließpapier durch einen isolierten Zinkstreifen, nimmt darauf den Zinkstreifen wieder fort und hebt auch die Glastafel mit dem Fließpapier ab, so gehen die Blättchen des Elektroskops mit negativer Elektricität auseinander.

Im obigen ist lediglich von der elektrischen Erregung zwischen Metallen und Flüssigkeiten die Rede gewesen; doch wollen wir nicht unerwähnt lassen, daß sich auch bei der gegenseitigen Berührung zweier Metalle, überhaupt zweier guten Leiter, elektrische Erscheinungen wahrnehmen lassen. Legt man z. B. eine blank geschliffene Zinkplatte und eine ebensolche Kupferplatte, indem man sie an isolierenden Handgriffen festhält, auf einander und trennt sie dann wieder, so zeigt eine Prüfung am Elektroskop unter Benutzung eines Kondensators, daß die Zinkplatte positive, die Kupferplatte negative Elektricität erhalten hat. Man bezeichnet diesen Versuch, durch welchen **Volta** überhaupt die Berührungselektricität zuerst nachgewiesen hat, gewöhnlich als **Voltaschen Fundamentalversuch**.

Zur Erklärung der Berührungselektricität begnügte sich Volta mit der Annahme, daß schon die bloße gegenseitige Berührung in den Leitern eine Trennung entgegengesetzter Elektricitäten zur Folge habe. Gegenüber dieser Ansicht, der **Kontakttheorie**, ist später (in den dreißiger Jahren von **Delarive** und **Faraday**) eine andere, die **chemische Theorie**, aufgestellt worden, welche die Berührungselektricität aus der chemischen Einwirkung der Flüssigkeiten auf die mit ihnen in Berührung befindlichen Metalle herzuleiten sucht. Indem diese Theorie überhaupt eine unmittelbare elektrische Erregung zwischen Metallen leugnet, erklärt sie die Elektricitätsentwicklung bei zwei sich berührenden Metallen dadurch, daß zwischen den Metallen auch bei der sorgfältigsten Reinigung stets eine, wenn auch nur äußerst dünne Schicht von Feuchtigkeit oder verdichteten Gasen, insbesondere Sauerstoff,

vorhanden sei, welche chemisch auf die Metalle einwirke. — Hinsichtlich dieser beiden Theorieen steht jetzt zufolge des Gesetzes von der Erhaltung der Energie (§. 253, b) soviel unzweifelhaft fest, daß die Kontakttheorie in der von Volta gegebenen Form unhaltbar ist, daß sich vielmehr die Berührungselektricität jedenfalls nur auf Kosten irgend welcher Energie entwickeln kann. Andererseits halten aber die meisten Physiker die chemische Theorie bislang noch keineswegs für sicher erwiesen, lassen vielmehr die Kontakttheorie in dem erweiterten Sinne gelten, daß gute Leiter sich bei (nicht infolge) gegenseitiger Berührung auch ohne jede chemische Einwirkung elektrisch erregen können. Wenn wir trotzdem die gegenseitige Erregung zweier Metalle nicht weiter berücksichtigen, so liegt der Grund hierfür darin, daß dieselbe, falls sie wirklich besteht, doch für das Folgende keine wesentliche Bedeutung hat, indem jedenfalls der galvanische Strom lediglich als das Ergebnis chemischer Umsetzungen anzusehen ist. (Siehe auch §. 142 und den Anhang hierunter.)

Die Beobachtung Galvanis, welche zur Entdeckung der Berührungselektricität führte, war folgende: — Im Jahre 1789 hatte Galvani, um zu untersuchen, ob etwa die Luftelektricität physiologische Wirkungen (§. 150) ausübe, von der Haut entblößte Schenkel frisch getöteter Frösche mittelst kupferner Haken an einem eisernen Geländer aufgehängt; da bemerkte er, daß die Schenkel in Zuckungen gerieten, wenn die Füße derselben zufällig mit dem Geländer in Berührung kamen. Galvani suchte die Ursache dieser Erscheinung in einer besonderen tierischen Elektricität, welche sich zwischen dem Schenkel und dessen Nerv durch die metallene Verbindung hindurch ausgleichen sollte. Dagegen erkannte Volta, daß die Zuckungen nur dann eintreten, wenn die Verbindung zwischen Schenkel und Nerv aus zwei verschiedenen Metallen besteht, wie bei Galvanis Beobachtungen aus Kupfer und Eisen, worauf er dann weiter mit Hülfe des von ihm erfundenen Kondensators den oben erwähnten Versuch anstellte.

(Fig. 156.)



Die Beobachtung Galvanis läßt sich bequem auf die Art wiederholen, daß man zwei Streifen aus verschiedenen Metallen, etwa aus Kupfer und Zink, zu einer Gabel vereinigt und dann an dem Schenkelpaare eines kurz vorher getöteten Frosches nach Abziehung der Haut mit dem einen Streifen z (Fig. 156) den Schenkelnerv und mit dem anderen k den Muskel berührt, worauf eine Zuckung der Schenkel eintritt.

Anhangsweise geben wir hier noch eine kurze Darstellung derjenigen Gesetze der elektrischen Erregung, welche außer den schon oben entwickelten im Sinne der Kontakttheorie Geltung haben. — Man unterscheidet dabei zunächst (nach Volta) die Metalle und die Kohle als Leiter erster Klasse von den Flüssigkeiten als Leitern zweiter Klasse.

Die Leiter erster Klasse lassen sich in eine solche Reihe zusammenstellen, daß jedesmal der folgende, mit dem vorhergehenden in Berührung gebracht, negativ, der vorhergehende positiv elektrisch wird. Diese Reihe, die Spannungsreihe, ist nachstehend für die wichtigeren Leiter angegeben, indem zugleich darunter die chemischen Zeichen derselben sowie die elektrischen Differenzen der aufeinander folgenden Glieder (nach Hankel) hinzugefügt sind:

+	Zink	Blei	Eisen	Kupfer	Silber	Kohle	Platin —
	Zn	Pb	Fe	Cu	Ag	C	Pt
	44	40	16	18	4	1	

Dabei ist die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer oder in kurzer Bezeichnung Zn/Cu = 100 angenommen.

Für die Spannungsreihe gilt das Gesetz: **Die elektrische Differenz zweier Glieder ist gleich der Summe der Differenzen sämtlicher zwischen ihnen stehender Glieder.** So ist z. B.

$$Zn/Cu = Zn/Pb + Pb/Fe + Fe/Cu$$
$$100 = 44 + 40 + 16.$$

Hieraus erklärt sich die folgende Erscheinung, welche zugleich das Gesetz bestätigt: Werden mehrere Leiter erster Klasse hintereinander zu einer Kette verbunden, so ist die elektrische Differenz an den Endgliedern die nämliche, als wenn diese sich unmittelbar berührten. Wenn man z. B. drei Streifen aus Zink, Eisen, Kupfer in der angegebenen Reihenfolge an einander legt, so ist die elektrische Differenz dieser Kette bestimmt durch die Zusammenstellung:

$$Zn/Fe + Fe/Cu = Zn/Cu$$
$$84 + 16 = 100.$$

Für die Reihenfolge Zink, Kupfer, Eisen ergiebt sich:

$$Zn/Cu + Cu/Fe = Zn/Fe$$
$$100 - 16 = 84.$$

Bestehen insbesondere die Endglieder einer Kette aus demselben Metall, so ist gar keine elektrische Differenz zwischen denselben vorhanden, indem die Differenzen der einzelnen Glieder sich gegenseitig aufheben. Dasselbe ist offenbar auch dann noch der Fall, wenn die Endglieder mit einander durch dasselbe Metall verbunden werden. **Hiernach können in einer geschlossenen Kette, welche nur aus Leitern erster Klasse (Metallen) gebildet wird, keine elektrischen Erscheinungen stattfinden.** (Dabei ist vorausgesetzt, daß die Temperatur an allen Stellen der Kette die nämliche ist, vergl. unter §. 155.)

Im Gegensatze zu den Leitern erster Klasse lassen sich **die Leiter zweiter Klasse nicht** in die Spannungsreihe einordnen. Hierauf beruht es, daß in einer **geschlossenen Kette**, welche aus **zwei Leitern erster Klasse** (etwa Zink und Kupfer) und **einem Leiter zweiter Klasse** (Schwefelsäure) gebildet wird, die elektrischen Differenzen der einzelnen Glieder sich **nicht** gegenseitig aufheben und infolgedessen durch eine solche geschlossene Kette fortwährend ein **elektrischer Strom** fließt (s. d. folg. §.).

§. 140 (142). Voltasche Kette. Durch die Verbindung zweier Metalle und einer die Metalle ungleich erregenden Flüssigkeit entsteht die einfache **galvanische Kette** oder das **galvanische Element**. Die drei Glieder der Kette, als welche man z. B. nach Volta Zink, Kupfer und verdünnte Schwefelsäure nehmen kann, werden so zusammengestellt, daß die Flüssigkeit beide Metalle von einander trennt. Wenn man die Metalle außerhalb der Flüssigkeit, etwa durch einen Draht, leitend verbindet, so heißt die Kette **geschlossen**; sie heißt dagegen **geöffnet**, wenn zwischen den Metallen außerhalb der Flüssigkeit keine leitende Verbindung besteht.

(Fig. 157.)



Fig. 157 stellt eine geschlossene galvanische Kette dar; zwei Metalle K (Kupfer) und Z (Zink) tauchen in eine gesäuerte Flüssigkeit f und sind außerhalb derselben durch einen Draht leitend verbunden.

In der geöffneten Kette zeigt zufolge des vorig. §. das durch die Flüssigkeit stärker erregte Metall, in unserem Beispiele Zink, am hervorragenden Ende negative, das andere, Kupfer, positive Elektricität. Man bezeichnet daher das hervorragende Ende des **Kupfers**, überhaupt desjenigen Metalles, an welchem die positive Elektricität auftritt, als den **positiven Pol**, das hervorragende Ende des **Zinks** oder

des Metalles, an welchem sich die negative Elektricität zeigt, als den **negativen Pol** der Kette. Wird die Kette geschlossen, so hört die elektrische Spannung an den Polen ganz auf; sie kehrt aber wieder, sobald man die Kette von neuem öffnet. Hiernach spielt sich in der geschlossenen Kette der folgende Vorgang ab: — Beim Schließen strömen die positive und die negative Elektricität, welche sich an den Polen der geöffneten Kette angesammelt haben, durch den Schließungsbogen einander entgegen und gleichen sich aus: da aber die elektromotorische Kraft auch in der geschlossenen Kette fortbesteht, so werden von neuem im Innern der Kette entgegengesetzte Elektricitäten getrennt, welche sich dann durch den Schließungsbogen alsbald wieder ausgleichen, und so fort. Es wird hiernach die geschlossene Kette fortdauernd von einem **galvanischen Strome** durchflossen und zwar in der Weise, daß durch den Schließungsbogen positive Elektricität vom Kupfer zum Zink, negative vom Zink zum Kupfer überströmt, während in der zwischen beiden Metallen befindlichen Flüssigkeit umgekehrt positive Elektricität vom Zink zum Kupfer, negative vom Kupfer zum Zink übergeht. In Fig. 157 ist durch beigesetzte Pfeile die Richtung angedeutet, in welcher die positive Elektricität durch die geschlossene Kette hindurchfließt; im entgegengesetzten Sinne strömen fortgesetzt gleiche Mengen negativer Elektricität.

Da mit der Richtung des einen dieser beiden Ströme auch die des andern bestimmt ist, so giebt man für gewöhnlich nur die Richtung des positiven an. Wir sprechen demgemäß für die Voltasche Zink-Kupferkette das folgende Gesetz aus:

In der geschlossenen Kette geht der (positive) Strom durch den Schließungsbogen vom Kupfer zum Zink (und durch die zwischen beiden Metallen befindliche Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer).

Werden mehrere Elemente mit einander in der Weise vereinigt, daß man den positiven Pol (das Kupfer) eines jeden mit dem negativen Pole (dem Zink) des folgenden leitend verbindet (Fig. 158), so entsteht die **zusammengesetzte Kette** oder **Batterie**, an welcher sich die Erscheinungen der galvanischen Elektricität im verstärkten Maße zeigen. Bei dieser Verbindung ragt in den beiden äußeren Elementen je ein Pol, in dem einen der positive (das Kupfer), in dem anderen der negative (das Zink), ohne Verbindung mit einem anderen Pole frei hervor. Den ersteren bezeichnet man als den **positiven**, den letzteren als den **negativen Pol** der Batterie.

(Fig. 158.)



Indem bei einer Batterie in jedem Elemente durch die elektromotorische Kraft desselben positive Elektricität nach der einen, negative nach der anderen Richtung getrieben wird, fließen diese Elektricitäten durch die leitende Verbindung der einzelnen Elemente in die Pole der Batterie (die positive in das freie Kupferende, die negative in das freie Zinkende), infolgedessen die elektrische Differenz an den Batteriepolen mit der Anzahl der Elemente zunehmen muß. Eine Batterie liefert daher an einem Elektroskop (unter Anwendung eines Kondensators) einen stärkeren Ausschlag wie ein einzelnes Element; doch bleibt die elektrische Differenz selbst bei einer großen Zahl von Elementen immer *nur eine sehr* geringe.

Werden die Pole der Batterie unter einander leitend verbunden, so treten die nämlichen Erscheinungen auf wie bei einem Elemente: Die Spannung an den Polen verschwindet; dagegen fließt durch die geschlossene Batterie ein galvanischer Strom und zwar geht derselbe in der Voltaschen Batterie durch den Schließungsbogen vom Kupfer zum Zink.

Wie ein Versuch zeigt, wird das gewöhnliche Zink von verdünnter Schwefelsäure stark angegriffen, indem sie dasselbe unter Entwicklung von Wasserstoffgas zu Zinkvitriol auflöst (vgl. §. 86). Vor dieser Einwirkung der Säure kann man das Zink dadurch (nahezu vollständig) schützen, daß man dasselbe vorher amalgamiert, d. h. mit einer Schicht von Quecksilber überzieht, wobei sich das Quecksilber mit dem oberflächlichen Zink zu Amalgam vereinigt. Aus dem angeführten Grunde wendet man für die galvanischen Ketten stets gut amalgamiertes Zink an.*)

Wenn man eine elektrische Flasche durch einen Draht entladet, so durchläuft denselben nach §. 130 ebenfalls ein zweifacher, positiver und negativer, Strom in entgegengesetzten Richtungen. Dieser Strom unterscheidet sich aber von dem kontinuierlichen Strome der galvanischen Kette durch seine auf einen Moment beschränkte Dauer. Auch wenn wir die Scheibe einer Elektrisiermaschine fortwährend umdrehen und den positiven Konduktor mit dem negativen Konduktor durch einen Draht verbinden, wird dieser von keinem kontinuierlichen Strome durchlaufen. Denn zwischen der Scheibe und den Spitzen des Konduktors findet immer nur dann ein Übergang der Elektricität statt, wenn diese auf der Scheibe eine hinreichende Spannung erlangt hat, um den Leitungswiderstand der trennenden Luftschicht zu überwinden. In einer geschlossenen galvanischen Kette stehen dagegen alle Glieder in einem innigen leitenden Zusammenhange; durch eine solche fließt deswegen die Elektricität in einem ununterbrochenen Strome.

Da ferner die Elektricität der galvanischen Kette eine weit geringere Spannung als die Reibungselektricität besitzt, so bietet die Isolierung der ersteren erheblich weniger Schwierigkeit dar; es ist infolgedessen auch das Gelingen der Versuche über galvanische Elektricität von der Beschaffenheit der Witterung unabhängig.

Um zu erkennen, wie die elektromotorische Kraft einer Batterie von derjenigen ihrer Elemente abhängt, stellen wir die maßgebenden Werte hierneben für eine geöffnete Batterie von 4 Elementen zusammen, indem wir dabei jedes einzelne Element kurz durch ZFK (Zink, Flüssigkeit, Kupfer) andeuten und die elektromotorische Kraft desselben gemessen durch die elektrische Differenz an den Polen des geöffneten Elementes (s. d. vor. §.), $= 2e$ annehmen. Wäre überhaupt keine elektromotorische Kraft in der Batterie vorhanden, so würde der Elektricitätsgrad auf den sämtlichen Metallplatten derselben $= 0$ sein. Durch die elektromotorische Kraft des ersten Elementes wird nun aber der Elektricitätsgrad auf der Zinkplatte dieses Elementes um den Betrag e vermindert, auf der Kupferplatte desselben und infolge der leitenden Verbindung auch auf allen Platten der 3 übrigen Elemente um e erhöht. Diese elektromotorische Wirkung des ersten Elementes ist unter der schematischen Darstellung der Batterie in der ersten Zeile für die darüber angedeuteten Platten durch die Werte $-e$ und $+e$ angegeben. Ebenso enthält die 2., 3., 4. Zeile die Änderungen des Elektricitätsgrades der Platten, wie sie durch die elektromotorische Kraft des 2., 3., 4. Elementes hervorgerufen werden. Durch Zusammenzählung der unter einander stehenden Beträge ergeben sich dann die in der 5. Zeile stehenden Werte, welche der Elektricitätsgrad auf den Platten infolge der Gesamtwirkung aller 4 Elemente thatsächlich an-

ZFK‿ZFK‿ZFK‿ZFK

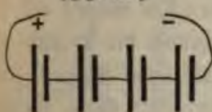
$-e$	$+e$	$+e$	$+e$	$+e$
$-e$	$-e$	$+e$	$+e$	$+e$
$-e$	$-e$	$-e$	$+e$	$+e$
$-e$	$-e$	$-e$	$-e$	$+e$
$-4e$	$-2e$	0	$+2e$	$+4e$
0	$+2e$	$+4e$	$+6e$	$+8e$
$-8e$	$-6e$	$-4e$	$-2e$	0

*) Amalgamieren läßt sich das Zink auf die Weise, daß man mittelst eines in verdünnte Schwefelsäure getauchten Lappens Quecksilber

nimmt. Wird der negative Pol der Batterie, die Zinkplatte des ersten Elementes, mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt, so steigt der Elektricitätsgrad, indem er sich bei sämtlichen Platten um 4e erhöht, auf die in der vorletzten Zeile enthaltenen Werte an; er sinkt dagegen um 4e und zwar auf die Werte der letzten Zeile, wenn man den positiven Pol der Batterie, die Kupferplatte des letzten Elementes, mit der Erde verbindet. Dabei wächst der Elektricitätsgrad allemal vom negativen Pole der Batterie zum positiven für jedes Element um 2e, im ganzen um $8e = 4 . 2e$.

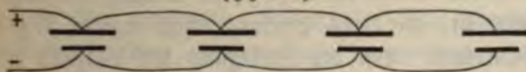
Allgemein ergiebt die vorstehende Betrachtung für eine Batterie aus n Elementen, daß der Elektricitätsgrad bei isolierten Batteriepolen am positiven $+ne$, am negativen $-ne$ beträgt, daß derselbe ferner, wenn man einen der Pole zur Erde ableitet, an diesem $= 0$, an dem anderen $= + n . 2e$ oder $= - n . 2e$ wird, je nachdem der letztere Pol der positive oder negative ist, und daß die elektrische Differenz an den Polen stets den Wert $n . 2e$ hat. Die elektromotorische Kraft einer Batterie wächst also im gleichen Verhältnis mit der Zahl der Elemente.

(Fig. 159.)



Dieses Gesetz gilt übrigens nur für die bislang betrachtete Anordnung der Elemente, bei welcher, wie Fig. 159 schematisch darstellt, die Zinkplatten und Kupferplatten in abwechselnder Folge mit einander verbunden sind. Eine solche Zusammenstellung der Elemente wird Hintereinanderschaltung genannt. Setzt man andererseits alle Zink- und ebenso alle Kupferplatten unter sich in Verbindung (Fig. 160), so entsteht die Nebeneinanderschaltung. Bei dieser entspricht die Batterie einem einzigen großen Elemente, in welchem sämtliche Zinkplatten zusammen die eine, sämtliche Kupferplatten zusammen die andere Metallplatte bilden. Es kann hiernach die elektromotorische Kraft, da dieselbe zufolge des vor. §. von der Größe der Berührungsfläche unabhängig ist, bei einer Batterie, wenn deren Elemente nebeneinander geschaltet sind, nicht größer ausfallen als bei nur einem Elemente, wie sich auch durch Prüfung mittelst eines Elektroskopes bestätigen läßt (s. auch §. 148, a).

(Fig. 160.)



Batterieen von sehr einfacher Art sind die sogenannten trockenen oder Zambonischen Säulen. Man erhält eine solche, wenn man Bogen von unechtem Silberpapier (Zinn) mit Bogen von unechtem Goldpapier (Kupfer) an den unbelegten Seiten zusammenleimt, dieselben hierauf in Scheiben, etwa von 2—3 cm Durchmesser, zerschneidet und diese Scheiben in sehr großer Zahl (bis 1000 und mehr) so übereinander schichtet, daß immer die Zinn- und die Kupferseite sich berühren. Das Papier, welches aus der Luft stets eine wenn auch nur geringe Menge Feuchtigkeit einsaugt, vertritt hier die Stelle des flüssigen Leiters. Diese Säulen liefern zwar wegen der geringen Leitungsfähigkeit des Papiers keinen merklichen Strom, zeigen aber bei der großen Zahl ihrer Elemente an den Polen eine verhältnismäßig bedeutende Spannung. — Die trockenen Säulen werden besonders (nach Bohnenberger) zur Konstruktion eines sehr empfindlichen Elektroskops benutzt, welches sich vorzüglich zur sicheren Anstellung der im vor. §. angegebenen Versuche eignet. Bei einem solchen Elektroskope (Fig. 161) befindet sich eine in eine Glasröhre eingeschlossene Zambonische Säule in wagerechter Lage unter einer gläsernen Glocke. Von den Polen der Säule gehen zwei Drähte aus, welche in zwei einander gegenüberstehenden Metallplatten a und b endigen. Zwischen diesen hängt an einem die Glasglocke durchbohrenden Metallstabe, der oben eine metallene Platte (Kollektorplatte, §. 131) trägt, ein schmales Goldblättchen herab, welches, da es von beiden Polplatten gleich stark angezogen wird, in Ruhe bleibt. So wie aber die obere Metallplatte eine wenn auch nur schwache

(Fig. 161.)



elektrische Ladung erhält, wird das Blättchen von dem gleichnamig elektrischen Pole abgestoßen, von dem andern angezogen und zeigt durch seinen Ausschlag die Elektricität der Metallplatte an.

Die erste galvanische Batterie ist von **Volta** 1800 zusammengestellt worden.

§. 141. Einige Versuche mit der Voltaschen Kette.*) 1) Leitet man den Strom einer Voltaschen Batterie durch Wasser, so wird dasselbe in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Zur bequemen Ausführung dieses Versuches dient der nachstehend beschriebene Apparat: Durch den Boden eines Glasgefäßes (Fig. 162) führen zwei Platindrähte K und Z, welche im Innern des Gefäßes in Platten von Platinblech endigen. Über jedes der Platinbleche läßt sich ein oben geschlossener Glascylinder stülpen. Füllt man nun das Gefäß und die beiden Cylinder mit Wasser und verbindet die Drähte des Apparates mit den Polen einer kräftigen Batterie, so entwickelt sich an jedem der Platinbleche ein Gas, welches von dem darüber gestülpten Cylinder aufgefangen wird, und zwar erhält der Cylinder H, in welchen der negative Poldraht Z führt, dem Volumen nach doppelt soviel Gas als der andere Cylinder O, in welchen der positive Poldraht K führt. Das erstere Gas ist, wie eine Prüfung leicht ergiebt (s. §. 82 u. 86), Wasserstoff, das letztere Sauerstoff. Bei der Zerlegung des Wassers durch den elektrischen Strom entwickelt sich also der Sauerstoff am positiven, der Wasserstoff am negativen Pol. — Der Strom zersetzt das Wasser leichter, wenn man dem letzteren etwas Säure zusetzt, indem hierdurch die Leitungsfähigkeit des Wassers erhöht wird.

(Fig. 162.)



Die in das Wasser eingetauchten Platinplatten, überhaupt die Stellen, an welchen der elektrische Strom in eine Flüssigkeit eintritt oder wieder aus ihr austritt, bezeichnet man als Elektroden, die erstere als positive, die letztere als negative.

Leitet man den Strom durch eine Auflösung von Kupfervitriol, indem man etwa wie oben die Poldrähte mit zwei in der Flüssigkeit sich gegenüberstehenden Platinblechen verbindet, so schlägt sich an der negativen Elektrode Kupfer nieder. Vertauscht man darauf die beiden Platinplatten mit einander, sodaß die mit dem ausgeschiedenen Kupfer bekleidete nun die positive Elektrode wird, so löst sich das Kupfer wieder auf, während an der anderen Platte, welche jetzt die negative Elektrode ist, von neuem Kupfer niedergeschlagen wird. — Allgemein scheidet der Strom, wenn er durch eine Flüssigkeit geht, in welcher ein Metall aufgelöst ist, das Metall aus und zwar an der negativen Elektrode; zugleich löst er an der positiven Elektrode, wenn diese aus demselben Metall besteht, die gleiche Menge wieder auf.

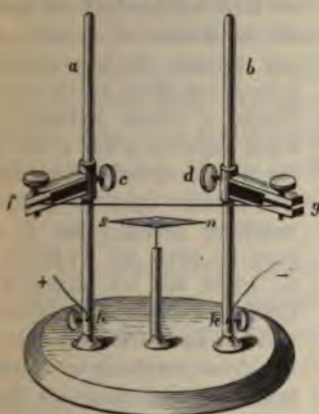
2) Führt man den galvanischen Strom an einer Magnetnadel vorbei, so wird dieselbe aus ihrer Richtung abgelenkt. Die Ablenkung wächst mit der Annäherung.

---

*) In diesem §. werden schon vorläufig zwei Wirkungen des galvanischen Stromes so weit betrachtet, als dies erforderlich ist, um ein Verständnis für die gebräuchlichen Formen der galvanischen Kette und für die zum Nachweis des Stromes und zur Abmessung der Stromstärke dienenden Apparate zu ermöglichen.

Diese Stromwirkung läßt sich bequem beobachten mit Hülfe der in Fig. 163 abgebildeten Vorrichtung, bei welcher sich an zwei metallenen Stäben a und b die Klemmen f und g mittelst der Schrauben c und d höher und niedriger stellen lassen. Zwischen f und g wird ein Kupferdraht eingeklemmt und bei h und k werden die Poldrähte einer galvanischen Kette mit den Stäben a und b verbunden. Ist h mit dem positiven, k mit dem negativen Pole in Verbindung gebracht, so durchläuft der Strom den Apparat in der Richtung hcfgdk. Wird dieser nun so aufgestellt, daß der Draht fg in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, (d. h. mit der Magnetnadel eine parallele Lage hat), und wird dann in der Nähe desselben eine Magnetnadel ns aufgestellt, so erfährt dieselbe in dem Augenblicke, in welchem die Kette geschlossen wird, eine Ablenkung; sie kehrt in ihre ursprüngliche Lage zurück, wenn man die Kette öffnet. Stellt man die Nadel das eine Mal unterhalb, das andere Mal oberhalb des Drahtes auf, so ist die Ablenkung in dem zweiten Falle die entgegengesetzte von der im ersteren. Führt man den Strom durch den Draht fg in umgekehrter Richtung, so zeigen sich jetzt in beiden Fällen die entgegengesetzten Ablenkungen von denen, welche man vorher beobachtet hat. — Allgemein ergiebt die Beobachtung, daß die Ablenkungen nach der folgenden von Ampère aufgestellten Regel stattfinden: Man denke sich in den Schließungsbogen eine menschliche Figur eingeschaltet, so daß der Strom dieselbe von den Füßen nach dem Kopfe hin durchläuft, und das Gesicht der Figur gegen die Nadel hingewendet ist, so wird für diese Figur das Nordende der Nadel nach der linken (das Südende nach der rechten) Seite abgelenkt.

(Fig. 163.)



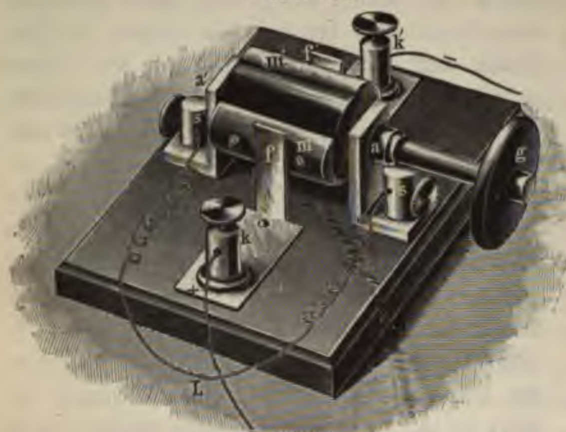
Auch die Ablenkungen, welche die senkrechten Teile des Schließungsbogens ch und dk auf die Nadel ausüben, wenn der Nord- oder Südpol sich in der Nähe desselben befindet, erfolgen so, wie die angeführte Regel es anzeigt.

Auf eine in der Nähe eines elektrischen Stromes befindliche Magnetnadel wirken zu gleicher Zeit zwei Kräfte, die Kraft des Stromes und die des Erdmagnetismus. Die Nadel wird daher nur in derjenigen Richtung ruhen können, welche der Resultierenden dieser beiden Kräfte (§. 24, a) entspricht. Je kräftiger nun der Strom ist, der auf die Nadel einwirkt, um so mehr nähert sich dieselbe in ihrer neuen Gleichgewichtslage derjenigen Richtung, welche mit dem Strome einen rechten Winkel bildet. Wir schließen hieraus: Die Kraft, mit welcher der elektrische Strom auf eine Magnetnadel einwirkt, steht senkrecht zur Richtung des Stromes.

Bei den obigen Versuchen läßt sich mit Vorteil ein Nebenapparat, der Stromwender oder Kommutator, benutzen, der die Bestimmung hat, den Strom bald in der einen, bald in der entgegengesetzten Richtung durch den Schließungsbogen der Batterie zu führen, ohne daß man nötig

hat, die Poldrähte selbst zu vertauschen. Ein solcher Stromwender findet überhaupt für die galvanische Elektricität vielfache Anwendung und wird in sehr verschiedenen Formen hergestellt. Fig. 164 zeigt eine der einfachsten. An einem Cylinder aus Hartgummi befinden sich die beiden Messingwülste m und m'; von diesen ist der eine m mit dem vorderen metallenen Teile a der Achse des Cylinders und dadurch mit der Klemme s, der andere mit dem hinteren ebenfalls metallenen Teile a' der Achse und so mit der Klemme s' leitend verbunden; die beiden Achsenteile a und a' aber sind von einander isoliert. An die beiden Messingwülste legen sich ferner die metallenen Federn f und f', von denen die erstere mit der Klemme k, die letztere mit der Klemme k' in Verbindung steht. Beim Gebrauch wird das eine Klemmenpaar, etwa s und s', mit den Enden der Leitung L verbunden, durch welche der Strom geführt werden soll, das andere Klemmenpaar k und k' aber mit den Polen der Batterie. Ist z. B. der positive Pol mit der Klemme k in Verbindung gesetzt, so geht der Strom bei der in der Figur abgebildeten Stellung über k, f, m, a, s durch die Leitung L hindurch und über s', a', m', f', k' wieder zur Batterie zurück. Wird aber der Cylinder mittelst des Handgriffs g um 180° gedreht, sodaß m' mit f und m mit f' in Berührung kommt, so durchläuft nun der Strom die Leitung L in umgekehrter Richtung, indem er über k, f, m', a', s' eintritt und wieder zurückkehrt über s, a, m, f', k'. — Dreht man den Cylinder nur um 90°, so ist die Stromleitung unterbrochen.

(Fig. 164.)



Die Zersetzung des Wassers vermittelst des elektrischen Stromes ist bald nach Erfindung der Voltaschen Batterie im Jahre 1800 von mehreren Physikern (Ritter, Carlisle, Nicholson) ausgeführt worden.

Die Einwirkung des galvanischen Stromes auf eine Magnetnadel ist zuerst von Örsted in Kopenhagen im Jahre 1820 beobachtet worden; in demselben Jahre ist obige Regel von Ampère in Paris aufgestellt worden.

§. 142. Von den Vorgängen in einer geschlossenen Voltaschen Kette. Die Wirkungen einer Voltaschen Batterie sind unmittelbar nach ihrer Zusammensetzung am kräftigsten, nehmen dann aber rasch ab. Der Grund hierfür muß in Veränderungen liegen, welche die Kette erleidet, während sie von dem elektrischen Strom durchflossen wird. Nun erfährt zufolge des vorigen §. Wasser, durch welches man den galvanischen Strom hindurch leitet, eine Zersetzung in der Art, daß an der positiven Elektrode der Sauerstoff, an der negativen der Wasserstoff auftritt. In gleicher Weise wird auch das Wasser in einer geschlossenen Kette zerlegt werden, und zwar wird sich, da der Strom in der Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer geht, an dem ersteren als der positiven Elektrode Sauerstoff, an dem letzteren als der negativen Elektrode Wasserstoff entwickeln. Thatsächlich bemerkt man denn auch beim Schließen der Kette, wie alsbald an der Kupferplatte zahlreiche Perlen von Wasserstoffgas entstehen. Der Sauerstoff kommt freilich an dem Zink nicht zum Vorschein; statt dessen zeigt sich, [illegible] unter Bildung von Zinkvitriol (schwefel-

saurem Zink) sich auflöst. Dies können wir uns, da gut amalgamiertes Zink nach §. 140 unter gewöhnlichen Verhältnissen von der Säure nicht angegriffen wird, so erklären, daß der am Zink frei werdende Sauerstoff sich sofort im Entstehungszustande mit dem Zink zu Zinkoxyd verbindet, welches dann von der Säure zu Zinkvitriol aufgelöst wird. (Siehe auch §. 151, a.)

Indem diese chemischen Umsetzungen den ursprünglichen Zustand der Kette immer mehr ändern, nimmt die Stärke des Stromes ganz erheblich ab; doch kann man, falls die Kette nicht allzulange geschlossen wird, von neuem kräftige Wirkungen erhalten, wenn man die Metallplatten aus der Flüssigkeit heraus nimmt, reinigt und wieder eintaucht. Für wiederholten kurzen Gebrauch genügt es schon, die Platten überhaupt herauszunehmen und wieder einzutauchen. Hieraus läßt sich zufolge des vorher Angeführten schließen, daß die Schwächung des Stromes insbesondere durch die Gasschicht bewirkt wird, mit welcher der Wasserstoff das Kupfer überzieht. (Näheres siehe §. 153.)

Aus dem Obigen ersehen wir ferner noch, daß in einer Voltaschen Kette, solange sie überhaupt einen Strom liefert, chemische Umsetzungen vor sich gehen, welche im wesentlichen darauf hinauslaufen, daß das Zink in der Schwefelsäure zu Zinkvitriol aufgelöst wird. Nach §. 84 enthält aber jedes freie chemische Element, in unserem Falle das Zink, eine gewisse Menge chemischer Energie. Dieser Arbeitsvorrat setzt sich, falls das Element mit anderen in Verbindung tritt, für gewöhnlich in Wärme um. So macht sich insbesondere auch, wenn Zink unter gewöhnlichen Verhältnissen in Schwefelsäure aufgelöst wird, dabei eine beträchtliche Temperaturerhöhung bemerkbar. Andererseits zeigt sich, daß in einer geschlossenen Voltaschen Kette die Auflösung des (gut amalgamierten) Zinks nicht unmittelbar von der entsprechenden Wärmeentwicklung begleitet ist, daß dagegen ein fortwährendes Strömen von Elektricität stattfindet, wodurch unter geeigneten Umständen, z. B. wenn der Strom durch einen dünnen Draht geführt wird, ebenfalls Wärme erzeugt werden kann. Wir schließen hieraus: *Die Energie des galvanischen Stromes entsteht auf Kosten von chemischer Energie, indem sich das Arbeitsvermögen, welches durch die chemischen Vorgänge in der geschlossenen Kette frei wird, in die Energie strömender Elektricität umsetzt.*

Auch in der geöffneten Kette wird selbst das gut amalgamierte Zink von der Säure gewöhnlich etwas angegriffen und infolgedessen an demselben ein wenig Wasserstoffgas entwickelt; doch ist dieser chemische Vorgang jedenfalls nur als eine Nebenerscheinung zu betrachten, welche mit der Entstehung des galvanischen Stromes nichts zu thun hat.

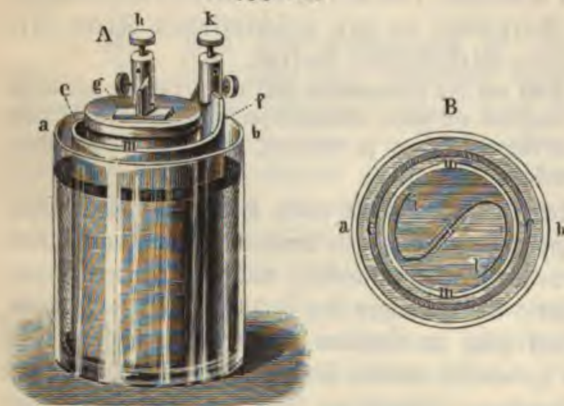
§. 143 (144). **Konstante Ketten.** Zufolge des vorig. §. leiden die Voltaschen Ketten an dem Übelstande, daß ihre anfangs kräftigen Wirkungen schnell nachlassen, indem sich an dem Kupfer freier Wasserstoff entwickelt, welcher auf den Strom schwächend einwirkt. Durch geeignete Abänderungen der Kette hat man es erreicht, die Bildung von freiem Wasserstoff ganz zu verhüten oder doch wenigstens sehr bedeutend zu vermindern, und so galvanische Ketten hergestellt, welche einen lange Zeit anhaltenden und mehr oder weniger gleichmäßigen Strom liefern. Im Gegensatze zu den Ketten der bislang angegebenen Einrichtung, den veränderlichen, bezeichnet man die letzteren als *konstante*.

Bei fast allen konstanten Ketten wendet man als das eine Metall ebenfalls Zink an, da dieses nach §. 139 unter den bekannteren Metallen durch Flüssigkeiten am stärksten (und zwar negativ) elektrisch erregt wird. Dasselbe ist meistens in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht, seltener in die Auflösung eines schwefelsauren oder anderen Salzes. Als zweites Metall dient bei manchen Ketten gleichfalls Kupfer, bei anderen ist dasselbe durch ein anderes Metall, insbesondere Platin, oder durch Kohle (Gaskohle, ausgeglühte Steinkohle) ersetzt. Dieses zweite Metall wird nun aber mit einem Stoff umgeben, welcher die Bildung von freiem Wasserstoffgas verhindert. Bei den Elementen mit Kupfer wendet man zu diesem Zweck eine Auflösung von Kupfervitriol an, durch dessen Zersetzung an der Kupferplatte nicht Wasserstoff, sondern metallisches Kupfer ausgeschieden wird, welches lediglich eine Verdickung der Metallplatte bewirkt; bei den Elementen mit Platin oder Kohle benutzt man dagegen einen sauerstoffreichen Körper, wie Salpetersäure, Chromsäure, welcher den frei werdenden Wasserstoff durch Abgabe von Sauerstoff wieder zu Wasser oxydiert. Die meisten konstanten Ketten enthalten daher zwei verschiedene Flüssigkeiten, welche von einander durch eine poröse (gewöhnlich aus unglasiertem Thon bestehende) Scheidewand getrennt sind, wodurch eine Vermischung der Flüssigkeiten verhindert wird, ohne daß der leitende Zusammenhang zwischen denselben aufgehoben ist. Das eine Metall der Kette taucht in die eine der beiden Flüssigkeiten, das andere Metall in die andere, z. B. Zink in Schwefelsäure, Kupfer in Kupfervitriol oder statt des letzteren Platin oder Kohle in Salpetersäure.

Die Einrichtung der konstanten Ketten kann im einzelnen eine sehr verschiedene sein. Bei allen aber, welche Zink als das eine Metall enthalten, zeigt dieses außerhalb der Flüssigkeit negative, das andere (Kupfer, Platin, Kohle) positive Elektricität, sodaß also das letztere stets den **positiven**, das erstere den **negativen** Pol darstellt und hinsichtlich der Richtung des (positiven) Stromes die gemeinsame Regel gilt:

Der galvanische Strom geht durch den Schließungsbogen zum Zink.

(Fig. 165.)



Die wichtigeren unter den konstanten Ketten sind die folgenden:

1) Die **Zink-Platinkette** von **Grove**: Zink in verdünnter Schwefelsäure, Platin in konzentrierter Salpetersäure. Dieselbe zeichnet sich durch eine große elektromotorische Kraft (s. §. 139 u. 148, a) und daher durch kräftigere Wirkungen aus. Die äußere Einrichtung einer solchen Kette ist aus Fig. 165 zu erkennen, in welcher A eine Ansicht, B einen wagerechten Durchschnitt zeigt. Ein Glasgefäß ab ist mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt; in diese taucht ein hohler, unten offener Zinkcylinder ef, und innerhalb dieses letzteren befindet sich eine Thonzelle (d. i. ein hohler unten geschlossener Thoncylinder) mm, welche mit konzentrierter Salpetersäure gefüllt ist. In diese taucht ein Platinblech il, welches, um eine größere Fläche mit der Flüssigkeit

Bei Anwendung eines Volumvoltameters ist zu beachten, daß das Volumen eines Gases sich wesentlich mit der Temperatur und dem Druck ändert; man muß daher die beobachteten Gasvolume stets auf die nämliche Temperatur und den nämlichen Druck beziehen; als solche nimmt man die Temperatur von 0° und den Druck einer Quecksilbersäule von 760 mm. — Als chemische Einheit der Stromstärke dient bei einem Knallgasvoltameter die Stärke eines Stromes, welcher in 1 Minute 1 ccm Knallgas bei 0° und 760 mm Druck entwickelt.

Hinsichtlich der Gewichtsvoltameter wird noch hervorgehoben, daß die Metalllösung, solange der Strom hindurchfließt, im gesättigten Zustande erhalten bleiben muß. Zu dem Zweck nimmt man beide Elektrode aus dem betreffenden Metall, bei dem Kupfervoltameter also aus Kupfer; von der positiven Elektrode löst sich dann ebensoviel Metall auf, als an der negativen niedergeschlagen wird (vergl. §. 141). — Als chemische Einheit der Stromstärke gilt bei dem Kupfervoltameter die Stärke eines Stromes, welcher in 1 Minute 1 mg Kupfer niederschlägt.

Genaue Messungen haben ergeben, daß ein Strom, welcher 1 ccm Knallgas (von 0° u. 760 mm Druck) entwickelt, in derselben Zeit (ungefähr) 1,9 mg Kupfer niederschlägt.

In neuerer Zeit wendet man für die Stromstärke eine aus theoretischen Betrachtungen abgeleitete Einheit, das Ampère, an. Ein Strom besitzt die Stärke 1 Ampère, wenn er in 1 Minute (ungefähr) an Knallgas (bei 0° u. 760 mm) 10,5 ccm, an Kupfer 20 mg ausscheidet. Man hat demnach, um die Stromstärke in Ampère zu erhalten, die in 1 Minute entwickelte Knallgasmenge in ccm durch 10,5 oder die in 1 Minute ausgeschiedene Kupfermenge in mg durch 20 zu dividieren. (Siehe auch §. 151, b.)

Die chemische Abmessung der Stromstärke beruht auf dem Satze: Die Menge des in einer bestimmten Zeit durch den galvanischen Strom zersetzten Stoffes ist der Stromstärke proportional. Von der Richtigkeit dieses Satzes kann man sich auf die Art überzeugen, daß man die Stärke verschiedener Ströme vermittelst der Tangentenbussole abmißt und dabei jedesmal gleichzeitig mit der Bussole ein Voltameter in den Stromkreis einschaltet. Man findet dann z. B., daß ein Strom, welcher nach den Angaben der Tangentenbussole doppelt so stark ist als ein anderer, in dem Voltameter während der gleichen Zeit auch die doppelte Menge an Knallgas oder Kupfer ausscheidet.

Während man auf chemischem Wege ein absolutes Maß der Stromstärke erhält, gestattet die Tangentenbussole (s. d. vorig. §.) unmittelbar nur relative Messungen. Andererseits hat aber die Tangentenbussole für den praktischen Gebrauch vor dem Voltameter mancherlei Vorzüge: sie ist bequemer zu handhaben und weit empfindlicher, leistet ferner dem Strome einen sehr geringen Widerstand, während das Voltameter den Strom bedeutend schwächt (s. d. folg. §.). Auch mißt die Tangentenbussole die Stromstärke in einem bestimmten Augenblicke, das Voltameter dagegen nur die durchschnittliche Stromstärke während der ganzen Dauer der chemischen Zersetzung.

Um die Angaben einer Tangentenbussole auf chemisches Maß zurückzuführen, hat man nur nötig, die Bussole einmal gleichzeitig mit einem Voltameter in einen Stromkreis einzuschalten. Nehmen wir z. B. an, daß bei einem solchen Versuche die Nadel um den Winkel α abgelenkt worden sei und sich gleichzeitig in dem Voltameter a ccm Knallgas in 1 Min. entwickelt hätten. Wird nun bei einem anderen Versuche die Nadel um den Winkel φ gedreht, und bezeichnen wir die Anzahl ccm, welche derselbe Strom in 1 Min. in einem Voltameter entwickeln würde, mit v, so erhalten wir, da die Tangente des Ablenkungswinkels der Stromstärke proportional ist, zur Bestimmung von v die Gl.: $v : a = \operatorname{tg}\varphi : \operatorname{tg}\alpha$ und daraus

$$v = \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \cdot \operatorname{tg}\varphi = c \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

wenn wir den aus dem ersten Versuche bekannten Quotienten $\frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} = c$ setzen. Man hat also bei einem späteren Versuche nur die Tangente des Ablenkungswinkels φ mit dem Quotienten $c = \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha}$ zu multiplicieren, um die Stärke des Stromes im chemischen Maße zu erhalten. Den Wert dieses Quotienten bezeichnet man als den Reduktionsfaktor der betreffenden Tangentenbussole. — Da $\operatorname{tg} 45^0 = 1$ ist, so wird für $\varphi = 45^0$ die Stromstärke $v = c \operatorname{tg} 45^0 = c$. Der Reduktionsfaktor ist

5) Die Zink-Kupferkette nach Meidinger: Zink in einer Auflösung von Bittersalz, Kupfer in Kupfervitriollösung. Die nähere Einrichtung einer solchen Kette zeigt Fig. 167. Ein Glasgefäß, welches unten enger ist als oben, enthält in seinem unteren Teile die Kupfervitriollösung und einen Cylinder k aus Kupferblech, in seinem oberen Teile aber die vorsichtig über die Kupfervitriollösung gegossene, specifisch leichtere Lösung von Bittersalz nebst einem Zinkcylinder g, welcher von dem vorspringenden Rande bc des Glases getragen wird. Die Flüssigkeiten vermischen sich auch auf die Dauer nicht wesentlich mit einander, wenn Erschütterungen der Kette vermieden werden. Von den beiden Metallen führen Drähte nach außen, von denen der mit dem Kupfer k verbundene, soweit er in der Bittersalzlösung sich befindet, mit einem isolierenden Überzuge von Guttapercha versehen ist. Das aufgesetzte Deckelgefäß dhil, welches bei l mit einer kleinen Öffnung in die Kupfervitriollösung eintaucht, ist mit Krystallen von Kupfervitriol angefüllt und erhält dadurch die Lösung konzentriert. — Eine etwas vereinfachte Form dieser Kette wird jetzt allgemein an den Telegraphenstationen des Deutschen Reiches benutzt.

(Fig. 167.)



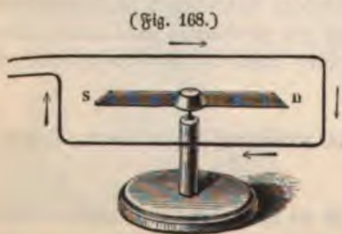
Schließlich führen wir noch eine Abänderung der Bunsenschen Zink-Kohlenkette an, die zwar keinen starken Strom giebt, aber bei nur zeitweiser, wenn auch häufiger Benutzung Jahre hindurch wirksam bleibt und daher insbesondere bei Haustelegraphen angewendet wird:

6) Die Braunsteinkette von Leclanché: Zink in einer Lösung von Salmiak, Kohle in angefeuchtetem Braunstein. Bei dieser Kette ist es der Braunstein (Mangansuperoxyd), welcher den Wasserstoff durch Abgabe von Sauerstoff in Wasser überführt. Indem die von grob zerstoßenem Braunstein umgebene Kohle sich in einer Thonzelle befindet, welche zugleich mit einer Zinkstange in der Salmiaklösung steht, dringt von der letzteren durch die Thonzelle eine genügende Menge hindurch, um den Braunstein andauernd feucht zu erhalten. — Neuerdings läßt man auch hier die Thonzelle fort, indem man eine Mischung aus Kohle- und Braunsteinpulver zu einem Cylinder zusammenbackt, welcher zugleich mit einer Zinkstange in die Salmiaklösung eingestellt wird.

§. 144 (150, a). **Galvanoskop.** Zum Nachweise eines galvanischen Stromes hat man besondere Apparate hergestellt, welche den Namen Galvanoskop führen. Läßt sich mit Hülfe derselben auch die Stärke des Stromes messen, so werden sie Galvanometer genannt.

Vorzüglich eignet sich zum Nachweise eines galvanischen Stromes die schon in §. 141 betrachtete Einwirkung desselben auf eine Magnetnadel, wobei man die Richtung des Stromes mit Hülfe der Ampèreschen Regel leicht bestimmen kann. Um eine recht kräftige Wirkung des Stromes auf die Nadel zu erzielen, führt man den Strom möglichst nahe nicht nur an der Nadel vorbei, sondern durch einen Draht, welchen man in die Form eines Rechteckes (Fig. 168) gebogen hat, um dieselbe herum, indem dann zufolge der Ampèreschen Regel alle Seiten des Rechteckes, für welche die der Figur beigesetzten Pfeile die Richtung des Stromes anzeigen, die Nadel in demselben Sinne zu drehen streben. Wendet man dieses Princip

(Fig. 168.)



Bei Anwendung eines Volumvoltameters ist zu beachten, daß das Volumen eines Gases sich wesentlich mit der Temperatur und dem Druck ändert; man muß daher die beobachteten Gasvolume stets auf die nämliche Temperatur und den nämlichen Druck beziehen; als solche nimmt man die Temperatur von 0^0 und den Druck einer Quecksilbersäule von 760 mm. — Als chemische Einheit der Stromstärke dient bei einem Knallgasvoltameter die Stärke eines Stromes, welcher in 1 Minute 1 ccm Knallgas bei 0^0 und 760 mm Druck entwickelt.

Hinsichtlich der Gewichtsvoltameter wird noch hervorgehoben, daß die Metalllösung, solange der Strom hindurchfließt, im gesättigten Zustande erhalten bleiben muß. Zu dem Zweck nimmt man beide Elektrode aus dem betreffenden Metall, bei dem Kupfervoltameter also aus Kupfer; von der positiven Elektrode löst sich dann ebensoviel Metall auf, als an der negativen niedergeschlagen wird (vergl. §. 141). — Als chemische Einheit der Stromstärke gilt bei dem Kupfervoltameter die Stärke eines Stromes, welcher in 1 Minute 1 mg Kupfer niederschlägt.

Genaue Messungen haben ergeben, daß ein Strom, welcher 1 ccm Knallgas (von 0^0 u. 760 mm Druck) entwickelt, in derselben Zeit (ungefähr) 1,9 mg Kupfer niederschlägt.

In neuerer Zeit wendet man für die Stromstärke eine aus theoretischen Betrachtungen abgeleitete Einheit, das Ampère, an. Ein Strom besitzt die Stärke 1 Ampère, wenn er in 1 Minute (ungefähr) an Knallgas (bei 0^0 u. 760 mm) 10,5 ccm, an Kupfer 20 mg ausscheidet. Man hat demnach, um die Stromstärke in Ampère zu erhalten, die in 1 Minute entwickelte Knallgasmenge in ccm durch 10,5 oder die in 1 Minute ausgeschiedene Kupfermenge in mg durch 20 zu dividieren. (Siehe auch §. 151, b.)

Die chemische Abmessung der Stromstärke beruht auf dem Satze: Die Menge des in einer bestimmten Zeit durch den galvanischen Strom zersetzten Stoffes ist der Stromstärke proportional. Von der Richtigkeit dieses Satzes kann man sich auf die Art überzeugen, daß man die Stärke verschiedener Ströme vermittelst der Tangentenbussole abmißt und dabei jedesmal gleichzeitig mit der Bussole ein Voltameter in den Stromkreis einschaltet. Man findet dann z. B., daß ein Strom, welcher nach den Angaben der Tangentenbussole doppelt so stark ist als ein anderer, in dem Voltameter während der gleichen Zeit auch die doppelte Menge an Knallgas oder Kupfer ausscheidet.

Während man auf chemischem Wege ein absolutes Maß der Stromstärke erhält, gestattet die Tangentenbussole (s. d. vorig. §.) unmittelbar nur relative Messungen. Andererseits hat aber die Tangentenbussole für den praktischen Gebrauch vor dem Voltameter mancherlei Vorzüge: sie ist bequemer zu handhaben und weit empfindlicher, leistet ferner dem Strome einen sehr geringen Widerstand, während das Voltameter den Strom bedeutend schwächt (s. d. folg. §.). Auch mißt die Tangentenbussole die Stromstärke in einem bestimmten Augenblicke, das Voltameter dagegen nur die durchschnittliche Stromstärke während der ganzen Dauer der chemischen Zersetzung.

Um die Angaben einer Tangentenbussole auf chemisches Maß zurückzuführen, hat man nur nötig, die Bussole einmal gleichzeitig mit einem Voltameter in einen Stromkreis einzuschalten. Nehmen wir z. B. an, daß bei einem solchen Versuche die Nadel um den Winkel α abgelenkt worden sei und sich gleichzeitig in dem Voltameter a ccm Knallgas in 1 Min. entwickelt hätten. Wird nun bei einem anderen Versuche die Nadel um den Winkel φ gedreht, und bezeichnen wir die Anzahl ccm, welche derselbe Strom in 1 Min. in einem Voltameter entwickeln würde, mit v, so erhalten wir, da die Tangente des Ablenkungswinkels der Stromstärke proportional ist, zur Bestimmung von v die Gl.: $v : a = \operatorname{tg}\varphi : \operatorname{tg}\alpha$ und daraus

$$v = \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \cdot \operatorname{tg}\varphi = c \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

wenn wir den aus dem ersten Versuche bekannten Quotienten $\frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} = c$ setzen. Man hat also bei einem späteren Versuche nur die Tangente des Ablenkungswinkels φ mit dem Quotienten $c = \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha}$ zu multiplicieren, um die Stärke des Stromes im chemischen Maße zu erhalten. Den Wert dieses Quotienten bezeichnet man als den Reduktionsfaktor der betreffenden Tangentenbussole. — Da $\operatorname{tg} 45^0 = 1$ ist, *so wird für $\varphi = 45^0$* die Stromstärke $v = c \operatorname{tg} 45^0 = c$. Der Reduktionsfaktor ist

Je nach der Beschaffenheit der Stromquelle und -leitung ist es vorteilhaft, einen Multiplikator mit vielen Windungen eines dünnen oder mit nur wenig Windungen eines dicken Drahtes anzuwenden; für manche Untersuchungen gebraucht man Apparate, in denen ein äußerst feiner Draht mehrere tausend Windungen beschreibt. (Näheres §. 148, a.)

Indem man ferner an der Drehungsachse der Magnetnadel ähnlich wie bei dem Magnetometer (§. 111, a) einen kleinen Spiegel anbringt und das in §. 192 beschriebene Verfahren der Spiegelablesung anwendet, erhält man das empfindlichste Meßinstrument für galvanische Ströme, das Spiegelgalvanometer.

Der Multiplikator ist von Schweigger in Halle (1821), das Galvanometer mit astatischer Doppelnadel von Nobili (1830) erfunden.

*§. 145 (152). **Tangentenbussole.** Die Ablenkung, welche eine Magnetnadel durch den galvanischen Strom erfährt, kann dazu dienen, verschiedene Ströme hinsichtlich ihrer Stärke mit einander zu vergleichen. Hierbei sind die Ströme in demselben Abstande an der Nadel vorbeizuführen, weil die Kraft, mit welcher der galvanische Strom auf eine Magnetnadel einwirkt, mit der Entfernung abnimmt.

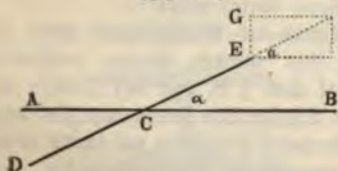
Im Zusammenhange damit ist sodann noch zu beachten, daß bei wachsender Ablenkung der Nadel der Abstand ihrer Pole von dem Strome immer größer, infolgedessen die Kraft, mit welcher derselbe auf die Pole einwirkt, immer kleiner wird. Soll diese Wirkung sich nur mit der Stärke des Stromes, nicht aber mit der Lage der Pole ändern, so müssen letztere bei jeder Stellung der Nadel den nämlichen Abstand von dem Strome beibehalten. Das ist wenigstens näherungsweise erfüllt, wenn man den Strom in einem verhältnismäßig großen Kreise um eine recht kleine Magnetnadel herumführt.

(Fig. 172.)



Fig. 172 zeigt einen Apparat, welcher dementsprechend eingerichtet ist. Derselbe besteht aus einem kreisförmig gebogenen Kupferstreifen C, dessen gegenseitig isolierte Enden vermittelst der Klemmen k, k mit den Polen einer Stromquelle verbunden werden können, während im Mittelpunkte des kupfernen Ringes eine Bussole B mit sehr kleiner Magnetnadel angebracht ist. Bei einem Versuche stellt man das Instrument so auf, daß die Ebene des Ringes in den magnetischen Meridian fällt.

(Fig. 173.)



Es sei nun AB (Fig. 173) die Richtung des magnetischen Meridians, also die Richtung, welche die Nadel des Apparates unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus einnimmt. Die Kraft des Stromes, welcher den im magnetischen Meridian aufgestellten ringförmigen Leiter durchläuft, wirkt dann auf die Nadel in einer zu AB senkrechten Richtung. Es sei ferner DE die Richtung [illegible] ie Nadel unter der gleichzeitigen Ein-

wirkung des Erdmagnetismus und des Stromes zur Ruhe kommt; dann muß die Resultierende beider Kräfte, welche wir an dem einen Pol E der Nadel durch EH darstellen wollen, in dieser nämlichen Richtung liegen und die Diagonale eines Rechtecks EFHG bilden, in welchem die mit AB parallele Seite EF die Wirkung des Erdmagnetismus und die darauf senkrechte Seite EG die Wirkung des Stromes ausdrückt. Bezeichnen wir daher die erstere Kraft mit M, die letztere mit J, so erhalten wir die Proportion

$$J : M = EG : EF = FH : EF.$$

Setzen wir sodann den Winkel ECB, um welchen die Nadel abgelenkt wird, $= \alpha$, so ist auch der Winkel HEF $= \alpha$, mithin das Verhältnis FH : EF $= \operatorname{tg} \alpha$*). Es ergiebt sich daher aus der obigen Proportion die Gleichung:

$$J : M = \operatorname{tg} \alpha,$$

woraus folgt: 1) $J = M \operatorname{tg} \alpha.$

Führen wir ferner durch denselben Apparat einen zweiten Strom von der Stärke J', welcher die Nadel um den Winkel α' von ihrer normalen Lage ablenkt, so erhalten wir in diesem Falle für die Stromstärke die Gleichung

2) $J' = M \operatorname{tg} \alpha'.$

Durch Division der Gl. 1) und 2) ergiebt sich sodann

$$J : J' = \operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} \alpha'.$$

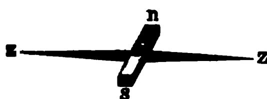
d. h. die Stromstärke ist der Tangente des Ablenkungswinkels proportional.

Der Ablenkungswinkel wächst demnach in einem geringeren Verhältnisse als die Stromstärke. — Zufolge dieses Gesetzes führt der oben beschriebene Apparat (Fig. 172) den Namen Tangentenbussole.

Wenn man Ströme von gleicher Stärke durch verschiedene Tangentenbussolen hindurch gehen läßt, so werden die Ablenkungen der Nadeln in den einzelnen Bussolen im allgemeinen ungleich ausfallen, da die Wirkung des Stromes nach dem Obigen auch wesentlich von der Einrichtung des Apparates (dem Durchmesser des Ringes, der Länge der Nadel u. a. m.) abhängt. Beobachtungen, welche mit verschiedenen Tangentenbussolen angestellt worden sind, lassen sich daher nicht ohne weiteres mit einander vergleichen. (S. auch d. folg. §.)

Um bei der Kleinheit der Magnetnadel eine Ablenkung deutlich wahrnehmen zu können, ist, wie die in größerem Maßstabe gezeichnete Fig. 174 besser zeigt, mit der Nadel ns in senkrechter Stellung zu derselben ein langer Zeiger zz verbunden.

(Fig. 174.)



Bei Messungen, welche mit der nämlichen Tangentenbussole ausgeführt werden, besitzt derjenige Strom die Einheit der Stromstärke, für welchen die Tangente des Ablenkungswinkels den Wert 1 hat, welcher also die Nadel um 45° ablenkt, da $\operatorname{tg} 45° = 1$ ist.

*) Zur Erklärung dieses Ausdruckes wird hier für diejenigen, welche keine trigonometrischen Kenntnisse besitzen, das Folgende bemerkt: In dem rechtwinkeligen Dreieck HEF ist durch den Winkel α offenbar auch das Verhältnis FH : EF bestimmt. Vergrößert sich etwa der Winkel α, so wächst, wenn wir die Kathete EF ungeändert beibehalten, die Kathete FH und folglich auch das Verhältnis FH : EF. In der Trigonometrie nennt man nun das Verhältnis der in einem rechtwinkeligen Dreiecke HFE einem spitzen Winkel HEF $= \alpha$ gegenüberliegenden Kathete FH zu der anliegenden Kathete EF die Tangente dieses Winkels; dieselbe wird kurz durch tg α (lies: tangens α) bezeichnet. Besonders berec. Tabellen geben für alle Winkel zwischen 0° und 90° die Größe der trigonometrischen Tanger

Die Angaben einer Tangentenbussole hängen nicht nur von der besonderen Einrichtung des Apparates ab, sondern auch von der Größe der erdmagnetischen Kraft. Es sind daher selbst Messungen an ein und demselben Instrumente nicht immer vergleichbar, wenn sie zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten ausgeführt worden sind, da der Erdmagnetismus mit der Zeit und dem Orte sich ändern kann.

Die Stärke des Stromes ist offenbar der Menge der Elektricität proportional, welche durch die elektromotorische Kraft der Kette in dem Stromkreise fortbewegt wird. Das theoretische Maß der Stromstärke ist daher die Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Stromleiters hindurchfließt. Bei einer gleichmäßigen Bewegung muß aber durch jeden Querschnitt des Stromkreises in der nämlichen Zeit auch die gleiche Menge von Elektricität hindurchgehen, weil sonst an einzelnen Stellen eine Stauung eintreten würde. Man kann also von vornherein das Gesetz aufstellen: **Die Stärke des elektrischen Stromes ist an allen Stellen des Stromkreises die gleiche.** Dieser Satz läßt sich auch leicht durch den Versuch bestätigen, indem die Nadel einer Tangentenbussole bei Einschaltung der letzteren an verschiedenen Stellen des Stromkreises unter sonst gleichen Umständen stets die nämliche Ablenkung erfährt.

§. 146. **Voltameter.** Als Maß für die Stärke des galvanischen Stromes benutzt man ferner die chemische Wirkung desselben. Man leitet z. B. den Strom durch Wasser hindurch und mißt die Menge der in einer bestimmten Zeit, etwa 1 Minute, entwickelten Gase Wasserstoff und Sauerstoff (s. §. 141). Gewöhnlich sammelt man dabei beide Gase in dem nämlichen Glascylinder an und bestimmt die Menge des so entstehenden **Knallgases** (§. 87). — Apparate, welche dazu dienen, die Stärke des elektrischen Stromes durch seine chemischen Wirkungen zu messen, führen den Namen **Voltameter**.

Da die genaue Ermittelung eines Gasvolumens mit größeren Schwierigkeiten verbunden ist, als eine vermittelst einer guten Wage sicher auszuführenden Gewichtsbestimmung, so benutzt man zur Abmessung der Stromstärke auf chemischem Wege gewöhnlich die Eigenschaft des Stromes, Metalle aus ihren Lösungen auszuscheiden (vergl. §. 141). So dient als Maß der Stromstärke insbesondere die **Gewichtsmenge Kupfer**, welche der Strom bei seinem Durchgange durch eine gesättigte Lösung von Kupfervitriol in 1 Minute niederschlägt.

Schaltet man zwei Knallgasvoltameter in den nämlichen Stromkreis ein, so entwickelt sich in beiden die gleiche Gasmenge. Die Angaben von Voltameter derselben Art sind also von der besonderen Einrichtung der einzelnen Instrumente unabhängig und daher ohne weiteres mit einander vergleichbar. Abmessungen nach verschiedenen chemischen Maßen, z. B. nach Raumteilen Knallgas und Gewichtsteilen Kupfer lassen sich ferner ohne Schwierigkeit auf einander zurückführen. Man braucht zu dem Zweck nur ein für allemal durch einen Versuch festzustellen, wieviel Knallgas und wieviel Kupfer derselbe Strom in einer bestimmten Zeit ausscheidet. — Desgleichen kann man auch die Angaben eines Galvanometers durch eine einfache Versuchsreihe auf chemisches Maß zurückführen, d. h. das betreffende Instrument nach chemischem Maße eichen, indem man für verschieden starke Ströme das Galvanometer und ein Voltameter gleichzeitig in den Stromkreis einschaltet und dann die den einzelnen Ablenkungen der Nadel entsprechenden Angaben des Voltameters bestimmt.

Nach dem Obigen benutzt man zwei[illegible]e Arten von Voltametern, nämlich **Volum-** (z. B. Knallgas-) und **Gewichts-** ([illegible]eter.

Bei Anwendung eines Volumvoltameters ist zu beachten, daß das Volumen eines Gases sich wesentlich mit der Temperatur und dem Druck ändert; man muß daher die beobachteten Gasvolume stets auf die nämliche Temperatur und den nämlichen Druck beziehen; als solche nimmt man die Temperatur von 0° und den Druck einer Quecksilbersäule von 760 mm. — Als chemische Einheit der Stromstärke dient bei einem Knallgasvoltameter die Stärke eines Stromes, welcher in 1 Minute 1 ccm Knallgas bei 0° und 760 mm Druck entwickelt.

Hinsichtlich der Gewichtsvoltameter wird noch hervorgehoben, daß die Metalllösung, solange der Strom hindurchfließt, im gesättigten Zustande erhalten bleiben muß. Zu dem Zweck nimmt man beide Elektrode aus dem betreffenden Metall, bei dem Kupfervoltameter also aus Kupfer; von der positiven Elektrode löst sich dann ebensoviel Metall auf, als an der negativen niedergeschlagen wird (vergl. §. 141). — Als chemische Einheit der Stromstärke gilt bei dem Kupfervoltameter die Stärke eines Stromes, welcher in 1 Minute 1 mg Kupfer niederschlägt.

Genaue Messungen haben ergeben, daß ein Strom, welcher 1 ccm Knallgas (von 0° u. 760 mm Druck) entwickelt, in derselben Zeit (ungefähr) 1,9 mg Kupfer niederschlägt.

In neuerer Zeit wendet man für die Stromstärke eine aus theoretischen Betrachtungen abgeleitete Einheit, das Ampère, an. Ein Strom besitzt die Stärke 1 Ampère, wenn er in 1 Minute (ungefähr) an Knallgas (bei 0° u. 760 mm) 10,5 ccm, an Kupfer 20 mg ausscheidet. Man hat demnach, um die Stromstärke in Ampère zu erhalten, die in 1 Minute entwickelte Knallgasmenge in ccm durch 10,5 oder die in 1 Minute ausgeschiedene Kupfermenge in mg durch 20 zu dividieren. (Siehe auch §. 151, b.)

Die chemische Abmessung der Stromstärke beruht auf dem Satze: Die Menge des in einer bestimmten Zeit durch den galvanischen Strom zersetzten Stoffes ist der Stromstärke proportional. Von der Richtigkeit dieses Satzes kann man sich auf die Art überzeugen, daß man die Stärke verschiedener Ströme vermittelst der Tangentenbussole abmißt und dabei jedesmal gleichzeitig mit der Bussole ein Voltameter in den Stromkreis einschaltet. Man findet dann z. B., daß ein Strom, welcher nach den Angaben der Tangentenbussole doppelt so stark ist als ein anderer, in dem Voltameter während der gleichen Zeit auch die doppelte Menge an Knallgas oder Kupfer ausscheidet.

Während man auf chemischem Wege ein absolutes Maß der Stromstärke erhält, gestattet die Tangentenbussole (s. d. vorig. §.) unmittelbar nur relative Messungen. Andererseits hat aber die Tangentenbussole für den praktischen Gebrauch vor dem Voltameter mancherlei Vorzüge: sie ist bequemer zu handhaben und weit empfindlicher, leistet ferner dem Strome einen sehr geringen Widerstand, während das Voltameter den Strom bedeutend schwächt (s. d. folg. §.). Auch mißt die Tangentenbussole die Stromstärke in einem bestimmten Augenblicke, das Voltameter dagegen nur die durchschnittliche Stromstärke während der ganzen Dauer der chemischen Zersetzung.

Um die Angaben einer Tangentenbussole auf chemisches Maß zurückzuführen, hat man nur nötig, die Bussole einmal gleichzeitig mit einem Voltameter in einen Stromkreis einzuschalten. Nehmen wir z. B. an, daß bei einem solchen Versuche die Nadel um den Winkel α abgelenkt worden sei und sich gleichzeitig in dem Voltameter a ccm Knallgas in 1 Min. entwickelt hätten. Wird nun bei einem anderen Versuche die Nadel um den Winkel φ gedreht, und bezeichnen wir die Anzahl ccm, welche derselbe Strom in 1 Min. in einem Voltameter entwickeln würde, mit v, so erhalten wir, da die Tangente des Ablenkungswinkels der Stromstärke proportional ist, zur Bestimmung von v die Gl.: $v : a = \operatorname{tg}\varphi : \operatorname{tg}\alpha$ und daraus

$$v = \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \cdot \operatorname{tg}\varphi = c \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

wenn wir den aus dem ersten Versuche bekannten Quotienten $\frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} = c$ setzen. Man hat also bei einem späteren Versuche nur die Tangente des Ablenkungswinkels φ mit dem Quotienten $c = \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha}$ zu multiplicieren, um die Stärke des Stromes im chemischen Maße zu erhalten. Den Wert dieses Quotienten bezeichnet man als den Reduktionsfaktor der betreffenden Tangentenbussole. — [Da] $\operatorname{tg} 45° = 1$ ist, so wird für $\varphi = 45°$ die Stromstärke $v = c \operatorname{tg} 45° = c$. Der Reduktionsfakto[r]

also gleich der Stromstärke im chemischen Maße (Anzahl ccm Knallgas in 1 Min.) bei einer Ablenkung von 45°. — Die im vorstehenden angegebene Berechnung ist unabhängig von der für die Stromstärke gewählten chemischen Einheit; sie ändert sich nicht, wenn man die Stromstärke anstatt in ccm Knallgas in mg Kupfer oder in Ampère ausdrückt.

§. 147 (153). **Leitungswiderstand.** Es sei in den Schließungsbogen einer galvanischen Kette ein Galvanometer eingeschaltet. Fügt man dann in die vorhandene Stromleitung noch ein Drahtstück ein, so vermindert sich die Ablenkung der Nadel und zwar um so mehr, je länger und dünner der Draht ist. Aus Versuchen dieser Art geht hervor, daß die Elektricität beim Durchströmen eines jeden Leiters je nach der Beschaffenheit desselben einen größeren oder kleineren *Widerstand* zu überwinden hat, wodurch die Stärke des von der elektromotorischen Kraft in der Kette hervorgerufenen Stromes mehr oder weniger geschwächt wird.

Von vornherein läßt sich annehmen, daß der Leitungswiderstand bei übrigens unveränderten Verhältnissen mit der Länge des Leiters in gleichem Maße zunimmt. Unter dieser Voraussetzung kann man die Widerstände zweier Leiter, etwa zweier Drähte, durch das folgende Verfahren mit einander vergleichen: — Man schaltet zunächst ein Stück des einen Drahtes gleichzeitig mit einem Galvanometer in den Stromkreis einer galvanischen Kette ein und beobachtet den Ausschlag der Nadel. Hierauf ersetzt man das eingeschaltete Drahtstück durch den zweiten Draht, indem man von diesem eine solche Länge in den Stromkreis einfügt, daß die Nadel wieder um denselben Winkel abgelenkt wird wie zuvor. Offenbar leistet dann das zweite Drahtstück, da die Stromstärke wieder die ursprüngliche geworden ist, den gleichen Widerstand wie bei dem vorher angestellten Versuche das erste. So findet man z. B., daß ein Draht mit doppeltem Querschnitt bei gleichem Widerstande auch die doppelte Länge haben muß, also bei gleicher Länge nur den halben Widerstand bietet. — Allgemein gilt das Gesetz:

Der Leitungswiderstand wächst in gleichem Verhältnisse mit der Länge und im umgekehrten mit dem Querschnitte, ist übrigens aber bei derselben Länge und demselben Querschnitte für verschiedene Stoffe sehr verschieden. Die am besten leitenden Körper sind die *Metalle*, unter diesen insbesondere Silber und Kupfer. Dies ist der Grund, warum man zu den Poldrähten gewöhnlich Kupfer anwendet. Größeren Widerstand bietet die Kohle. Bei weitem schlechter als die Metalle leiten die *Flüssigkeiten*. Chemisch reines Wasser leitet den Strom fast gar nicht; die *Leitungsfähigkeit* des Wassers wird durch den Zusatz einer Säure bedeutend vermehrt.

Um den Widerstand einer Flüssigkeit zu untersuchen, führt man den Strom durch dieselbe vermittelst zweier Platinplatten, welche parallel zu einander in die Flüssigkeit eingetaucht werden. Der Strom durchfließt dabei die zwischen den Platten befindliche Flüssigkeitsschicht, welche den Abstand der Platten zur Länge und die Größe derselben zum Querschnitt hat. — Überhaupt wendet man wegen des bedeutenden Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten da, wo man den Strom durch [illegible] hindurch zu führen hat, pla[illegible] Elektroden an, wie z. B. bei der Zersetzung des Wassers (s. §. 1[illegible] Widerstand fällt dann um

so geringer aus, der Strom wird um so weniger geschwächt, je näher die Platten aneinanderstehen und je größer sie sind.

Wird bei Widerstandsmessungen der Widerstand eines bestimmten Stoffes als Einheit genommen, so ist dieser Widerstand nach dem obigen Gesetze zugleich auf die Einheit der Länge und des Querschnitts zu beziehen. Nach Siemens nimmt man als praktische Einheit des Widerstandes (S.E.) den Widerstand eines Quecksilberfadens von 1 qmm Querschnitt und 1 m Länge. — Unter dem specifischen Widerstande eines Stoffes versteht man den in einer bestimmten Einheit ausgedrückten Widerstand eines aus diesem Stoffe gebildeten Prismas von 1 qmm Querschnitt und 1 m Länge; derselbe giebt also insbesondere bei Anwendung der Siemensschen Einheit an, wie viel mal so groß der Widerstand eines beliebigen Prismas aus dem betreffenden Stoffe ist, als der eines Quecksilberprismas von derselben Ausdehnung. Bezeichnen wir den specifischen Widerstand eines Stoffes mit k, die Länge eines aus diesem Stoff gebildeten Leiters mit l und dessen Querschnitt mit q, so ist der Widerstand des Leiters

$$w = k \frac{l}{q}.$$

Den umgekehrten Wert des specifischen Widerstandes eines Stoffes nennt man seine Leitungsfähigkeit. So ist z. B. der specifische Widerstand des Eisens in S.E. = $^1/_{10}$, seine Leitungsfähigkeit also = 10, d. h. Eisen leitet die Elektricität 10 mal besser als Quecksilber.

In neuerer Zeit gebraucht man wie bei der Stromstärke (vergl. d. vorig. §.), so auch bei dem Widerstande eine theoretisch abgeleitete Einheit, das Ohm. Ein Quecksilberfaden hat den Widerstand von 1 Ohm bei einem Querschnitt von 1 qmm und einer Länge von 1,06 m; es ist 1 Ohm = 1,06 S.E.

Nachstehend ist für einige Metalle der specifische Widerstand in Siemenseinheiten (S.E) und in Ohm (O), ferner das Leitungsvermögen (L) im Vergleich zu Quecksilber angegeben:

	S.E	O	L		S.E	O	L
Silber	0,015	0,014	66,7	Platin	0,092	0,087	10,9
Kupfer	0,016	0,015	62,5	Eisen	0,099	0,093	10,1
Gold	0,021	0,019	47,6	Blei	0,199	0,188	5,0
Messing	0,051	0,048	19,6	Neusilber	0,212	0,200	4,7
Zink	0,057	0,054	17,5	Quecksilber . . .	1,00	0,944	1,0

Der spec. Widerstand der Gaskohle beträgt je nach ihrer Beschaffenheit etwa 50—100 S.E. — Flüssigkeiten leiten viele Tausend mal schlechter als die Metalle; so ist z. B. der spec. Widerstand von konzentrierter Salpetersäure ungefähr = 17 700 S.E.; der von verdünnter Schwefelsäure (spec. Gew. 1,2) = 13 000, einer konzentrierten Lösung von Kupfer- und Zinkvitriol = 300 000; das reinste Wasser, welches man herzustellen vermochte, leitete 14 000 Millionen mal schlechter als Quecksilber, also so gut wie gar nicht, während die geringsten Beimengungen fester oder gasförmiger Stoffe das Leitungsvermögen bedeutend erhöhten.

Der Leitungswiderstand ändert sich etwas mit der Temperatur; insbesondere nimmt er bei den Metallen mit der Erwärmung zu (für 1° meist etwa um 4 %, bei Neusilber und Quecksilber jedoch nur ganz unbedeutend). — Die Siemenssche Einheit wird daher für genaue Messungen auf die Temperatur 0° bezogen.

Zur bequemen Einschaltung und Abmessung von Widerständen hat man besondere Apparate, Rheostaten, konstruiert. Diese bestehen im wesentlichen aus einer langen Drahtleitung, von welcher sich leicht ein mehr oder weniger großes Stück in den Stromkreis einfügen läßt. Durch Versuche ist der Widerstand des ganzen Drahtes sowie einzelner Teile desselben in Widerstandseinheiten genau bestimmt.

Zur Einschaltung schwacher Widerstände dient z. B. die folgende Einrichtung. Ein dünner Draht aus Neusilber ist über einem Brette ausgespannt und geht durch ein dickes Metallstück hindurch, welches sich an dem Drahte hin und her schieben läßt und dabei gleichzeitig an einem auf dem Brette befestigten dicken Metallstreifen entlang gleitet. Zwei Klemmen, von denen die eine mit dem einen Ende des Drahtes, die andere mit dem Metallstreifen in Verbindung steht, dienen dazu, den Strom

durch den Apparat zu leiten. Beim Durchgange hat der Strom nur den Widerstand desjenigen Drahtteiles zu überwinden, welcher sich zwischen der Klemme und dem Metallstücke befindet; der Widerstand in dem Metallstücke und dem Streifen, an welchem dasselbe entlang gleitet, ist bei dem großen Querschnitte so gering, daß er ganz vernachlässigt werden darf.

Für große Widerstande ist der Siemenssche Stöpselrheostat (Fig. 175) sehr gebräuchlich. Derselbe besteht aus einer Anzahl Rollen von isoliertem Neusilberdraht, welche sich in einem Kasten befinden und vermittelst dicker Messingplatten (a, b, c, u. s. w.), die durch Zwischenräume getrennt und von einander isoliert auf dem Deckel des Kastens sitzen, zu einer einheitlichen Leitung verbunden

(Fig. 175.)



sind, indem je zwei benachbarte Enden der Rollen mit der darüber befindlichen Platte in Verbindung stehen. Durch die Klemmen k, k kann die Drahtleitung in einen Stromkreis eingeschaltet werden. Beim Durchfließen würde der Strom unter den angegebenen Verhältnissen die sämtlichen Drahtrollen der Reihe nach durchlaufen müssen. Nun lassen sich aber zwischen die einzelnen Platten dichtanschließende Messingstöpsel (s) fest einsetzen. Geschieht dies an einer Stelle, z. B. zwischen den Platten b und c, so wird die darunter befindliche Drahtrolle aus dem Stromkreise ausgeschaltet, indem der Strom dann direkt durch den Stöpsel hindurchfließt, da er auf diesem kürzeren Wege bei dem großen Querschnitte nur einen verschwindend kleinen Widerstand findet. Denken wir uns in sämtliche Ausschnitte Stöpsel eingesetzt, so würden alle Drahtrollen aus dem Stromkreise ausgeschaltet sein, der Strom also im Apparate (so gut wie) gar keinen Widerstand zu überwinden haben. Durch Herausziehen einzelner Stöpsel läßt sich sodann eine willkürliche Anzahl von Drahtrollen in den Stromkreis einschalten. Die Widerstände der einzelnen Drahtrollen sind nun so gewählt, daß sie den Gewichten eines Gewichtssatzes entsprechend der Reihe nach die Werte 1, 2, 2, 5, 10 u. s. w. haben, wie auf dem Deckel angegeben ist. Man kann somit alle ganzzahligen Widerstände von 1 bis zur Summe der Widerstände von allen Drahtrollen herstellen. Bei der Anordnung in der Figur würde z. B. der Widerstand $1 + 2 + 10 + 20 = 33$, beim Fehlen aller Stöpsel der Widerstand 100 eingeschaltet sein.

***§. 148, a** (153). **Das Ohmsche Gesetz.** Die Stärke des Stromes, welchen eine galvanische Kette liefert, hängt einerseits von der elektromotorischen Kraft der Kette, andererseits zufolge des vorig. §. von dem im Stromkreise vorhandenen Leitungswiderstande ab. In dieser Hinsicht ist zuerst von Ohm (1827) das folgende Gesetz aufgestellt worden:

Die Stärke des elektrischen Stromes ist der elektromotorischen Kraft direkt, dem gesamten Widerstande im Stromkreise umgekehrt proportional.

Zufolge §. 139 ist die elektromotorische Kraft einer Kette wesentlich von der Natur der die Kette zusammensetzenden [illegible]hängig, dagegen ganz unab-

hängig von der Größe der Berührungsfläche. Durch eine große elektromotorische Kraft zeichnen sich besonders die Zink-Kohlen- und die Zink-Platinketten aus.

Was ferner den Leitungswiderstand anbetrifft, so hat der Strom nicht nur einen äußeren Widerstand im Schließungsbogen, sondern ebenso auch einen inneren in der Kette selbst zu überwinden. Wird die Kette durch einen recht kurzen und dicken Draht geschlossen, so ist der äußere Widerstand verschwindend klein, und der Strom erfährt wesentlich nur einen Widerstand im Innern der Kette. Während der äußere Widerstand je nach den Körpern, welche in den Stromkreis eingeschaltet werden, von sehr verschiedener Größe sein kann, ist der innere bei ein und derselben konstanten Kette (nahezu) unveränderlich, weshalb man ihn auch als den wesentlichen Widerstand des Stromkreises bezeichnet. Infolge der geringen Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten ist derselbe verhältnismäßig bedeutend; er hängt natürlich von der besonderen Einrichtung der Kette ab und fällt nach dem vorig. §. um so geringer aus, je besser die Flüssigkeit der Kette die Elektricität leitet, je größer die eingetauchten Metallplatten sind und je kleiner deren gegenseitiger Abstand ist.

Bei einer Batterie wächst die elektromotorische Kraft in gleichem Verhältnisse mit der Zahl der hinter einander geschalteten Elemente. In eben diesem Verhältnisse nimmt aber auch der Widerstand in der Batterie zu. Es wird daher, wenn dieselbe durch einen kurzen und dicken Draht geschlossen, der äußere Widerstand also nur klein ist, die Vermehrung der Elemente keine erhebliche Verstärkung des Stromes bewirken, dagegen ist es unter solchen Verhältnissen vorteilhaft, Elemente anzuwenden, bei welchen die Platten eine recht große Oberfläche haben, indem durch eine Vergrößerung der Berührungsfläche der Widerstand in der Kette vermindert wird. — Anders liegt die Sache, wenn der Strom den bedeutendsten Widerstand im Schließungsbogen zu überwinden hat, wenn er z. B. durch Flüssigkeiten oder durch einen sehr langen Draht hindurch geleitet wird. Die Wirkung muß dann mit der Zahl der Elemente zunehmen.

Zufolge des Vorstehenden erzielt man mittelst einer Batterie bei großem äußeren Widerstande einen möglichst kräftigen Strom, wenn man die einzelnen Elemente auf die gewöhnliche Weise hintereinander schaltet (s. §. 140, Fig. 159); bei nur kleinem äußeren Widerstande erreicht man dagegen denselben Zweck auf die Weise, daß man die Elemente nebeneinanderschaltet (s. §. 140, Fig. 160), indem die Batterie dann eine Kette bildet, bei welcher die elektromotorische Kraft gleich derjenigen eines einfachen Elementes, die Plattenoberfläche aber gleich der Summe der Oberflächen der Platten in den einzelnen Elementen ist.

Aus dem Ohmschen Gesetze geht ferner hervor, daß es zweckmäßig ist, einem Galvanoskop je nach dem Widerstande, welchen der Strom in der übrigen Leitung erfährt, eine verschiedene Einrichtung (mit größerem oder geringerem Widerstande) zu geben. Bei bedeutendem Widerstande in den übrigen Teilen des Stromkreises wird man ein Galvanoskop anwenden, bei welchem ein dünner Draht zahlreiche Windungen macht; wenn dagegen der übrige Widerstand nur gering ist, ein solches mit wenig Windungen eines dicken Drahtes.

Setzen wir diejenige elektromotorische Kraft = 1, welche in einem Stromkreise mit dem Widerstande 1 die Stromstärke 1 hervorbringt, und bezeichnen wir ferner die elektromotorische Kraft einer Kette allgemein mit E, den gesamten Widerstand im Stromkreise mit W, die Stromstärke mit J, so ergiebt sich als Ausdruck des Ohmschen Gesetzes die Gleichung:

$$J = \frac{W}{E}.$$

Seine Bestätigung findet das Ohmsche Gesetz wesentlich dadurch, daß sich die aus demselben gezogenen Folgerungen in der Erfahrung vollständig bewahrheiten. Die wichtigeren Folgerungen sind im nachstehenden abgeleitet:

Bezeichnen wir die elektromotorische Kraft jedes einzelnen Elementes einer Batterie mit e, die Anzahl der Elemente mit n, den inneren Widerstand eines Elementes mit w und den Widerstand im Schließungsbogen mit r, so ist, wenn die Elemente hinter einander geschaltet sind, die elektromotorische Kraft der Batterie = ne, der Widerstand derselben = nw und daher die Stärke des Stromes

$$J = \frac{ne}{nw + r}.$$

Ist nun der äußere Widerstand r im Vergleich gegen den inneren nw sehr groß, so werden wir annähernd

$$J = \frac{ne}{r}$$

setzen können. Bei sehr großem äußeren Widerstande ist also die Stromstärke der Zahl der hintereinandergeschalteten Elemente n (nahezu) proportional, dagegen von dem Widerstande in der Batterie nw (fast) unabhängig. In diesem Falle wird daher durch eine Vergrößerung der Platten die Stromstärke nicht vermehrt; wendet man aber statt eines Elementes 2 oder 3 hintereinandergeschaltete Elemente an, so steigt die Stromstärke auf das 2- oder 3fache, ein Versuch, der insbesondere zeigt, daß die Stromstärke der elektromotorischen Kraft proportional ist.

Ist dagegen der äußere Widerstand r im Vergleich gegen den inneren nw sehr klein, so erhalten wir annähernd

$$J = \frac{ne}{nw} = \frac{e}{w}.$$

Bei sehr kleinem äußeren Widerstande ist also die Stromstärke von der Zahl der hintereinandergeschalteten Elemente (fast) unabhängig, dagegen dem Widerstande der Kette w (nahezu) umgekehrt proportional. Hier bewirkt daher eine Vermehrung der hintereinandergeschalteten Elemente keine Verstärkung des Stromes; die Stromstärke wächst aber fast in demselben Verhältnis, in welchem die Platten vergrößert werden. Nimmt man z. B. statt eines Elementes 2 oder 3 nebeneinandergeschaltete Elemente und vermindert so den inneren Widerstand auf die Hälfte oder den dritten Teil, so steigt die Stromstärke nahezu auf das 2- oder 3fache, ein Versuch, welcher darthut, daß die Stromstärke dem Widerstande umgekehrt proportional ist.

Schließlich wollen wir noch allgemein die Frage beantworten, in welcher Weise mehrere Elemente verbunden werden müssen, um die größte Wirkung zu erzielen. Die Bezeichnungen seien dieselben wie vorher, und je x von den n Elementen seien durch Nebeneinanderschaltung zu einem einfachen Elemente vereinigt. Dann ist die Zahl dieser einfachen Elemente $\frac{n}{x}$ und wegen der xmal größeren Oberfläche der Widerstand in einem derselben $\frac{w}{x}$, also der Widerstand in der Batterie $\frac{n}{x} \cdot \frac{w}{x} = \frac{nw}{x^2}$. Man erhält folglich für die Stromstärke den Wert:

$$J = \frac{\frac{n}{x} \cdot e}{\frac{nw}{x^2} + r} = \frac{ne}{\frac{nw}{x} + rx}.$$

Nun wird ein Bruch am größten, wenn sein Nenner den kleinsten Wert annimmt. Der Nenner $\frac{wn}{x} + rx$ ist aber eine Summe aus zwei Gliedern, deren Produkt $\frac{nw}{x} \cdot rx = nwr$ einen konstanten Wert hat; er wird folglich am kleinsten,*) wenn seine beiden Glieder gleich sind, wenn also $rx = \frac{nw}{x}$ oder $r = \frac{nw}{x^2}$ ist. Man erhält daher den stärksten Strom, wenn der Widerstand in der Batterie gleich dem Widerstande im Schließungsbogen ist.

*) Siehe die Bemerkung unter dem Tex

Die elektromotorischen Kräfte zweier Ketten lassen sich zufolge des Ohmschen Gesetzes durch die Stärke der von ihnen hervorgerufenen Ströme vergleichen, falls der Widerstand in beiden Stromkreisen von derselben Größe ist. Man mißt daher die elektromotorische Kraft einer Kette durch die Stärke des Stromes, welchen sie in einem Stromkreise mit dem Widerstande 1 entwickelt. **Die Einheit der elektromotorischen Kraft** ist hiernach diejenige, welche in der Einheit des Widerstandes die Einheit der Stromstärke hervorbringt. Nehmen wir als Einheit des Widerstandes die **Siemens**sche (S.E.) und messen die Stromstärke durch die Anzahl ccm Knallgas (von 0° und 760 mm), welche der Strom in 1 Min. ausscheidet, so würde eine galvanische Kette die elektromotorische Kraft 1 besitzen, wenn sie in einem Voltameter bei einem Gesamtwiderstande des Stromkreises (Kette, Voltameter und Leitungsdrähte) von 1 S.E. in 1 Min. 1 ccm Knallgas entwickelte. — In Wirklichkeit muß übrigens die elektromotorische Kraft einer Kette wegen des sehr bedeutenden Widerstandes im Voltameter viel größer sein, wenn man mittelst dieser Kette merkliche Wassermengen zersetzen will. Hat etwa eine Batterie in den angegebenen Einheiten die elektromotorische Kraft 100, den inneren Widerstand 1, so würde das Voltameter mit den Leitungsdrähten zusammen nur einen verschwindend kleinen Widerstand besitzen dürfen, wenn die Batterie in 1 Min. wirklich 100 ccm Knallgas entwickeln sollte. Betrüge aber der Widerstand außerhalb der Batterie etwa ebenfalls 1 S.E., der gesamte Widerstand also 2 S.E., so würde die Batterie nur 50 ccm Knallgas in 1 Min. erzeugen.

Die Einheit der elektromotorischen Kraft, welche den theoretisch abgeleiteten Einheiten der Stromstärke und des Widerstandes, dem Ampère und dem Ohm, entspricht, führt den Namen **Volt**. **Ein Volt ist also diejenige elektromotorische Kraft, welche bei einem Widerstande von 1 Ohm die Stromstärke von 1 Ampère hervorbringt.** In diesen drei Einheiten läßt sich das **Ohm**sche Gesetz durch die folgende Gleichung darstellen:

$$\text{Ampère} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}.$$

Teilt man also die elektromotorische Kraft in Volt durch den Widerstand in Ohm, so erhält man die Stromstärke in Ampère. Hat z. B. der Strom einer Batterie aus 6 hinter einander geschalteten Elementen, von denen jedes eine elektromotorische Kraft von 1 Volt, einen Widerstand von 1 Ohm besitzen möge, den äußeren Widerstand von 4 Ohm zu überwinden, so ist die elektromotorische Kraft der Batterie = 6 Volt, der Widerstand derselben = 6 Ohm, der gesamte Widerstand also = 10 Ohm, mithin die Stromstärke = $^6/_{10}$ Ampère.

Die elektromotorische Kraft und den Widerstand einer galvanischen Kette kann man unter anderem durch folgendes Verfahren ermitteln: Man führt den Strom durch eine Tangentenbussole von sehr geringem Widerstande und zwar einmal, indem man die Bussole durch einen recht kurzen und dicken Draht mit der Kette verbindet, das andere Mal, indem man neben der Bussole mittelst eines Rheostaten noch einen bekannten Widerstand einschaltet. Es werde etwa bei dem ersten Versuche die Stromstärke i, beim zweiten die Stromstärke i' beobachtet; ferner habe der beim zweiten Versuche eingeschaltete Widerstand die Größe r. Bezeichnen wir dann die elektromotorische Kraft der Kette mit e, den Widerstand in derselben mit w, so ergiebt sich aus dem ersten Versuche, bei welchem der äußere Widerstand als verschwindend klein vernachlässigt werden kann, die Gl.: $i = \frac{e}{w}$ und aus dem zweiten die Gl.: $i' = \frac{e}{w + r}$. Mittelst dieser Gleichungen lassen sich e und w aus i, i' und r leicht berechnen. Bei einem Bunsenschen Elemente wurde z. B. im ersten Versuche die Stromstärke $i = 6{,}2$ Ampère, im zweiten, als ein Widerstand $r = 0{,}4$ Ohm eingeschaltet war, die Stromstärke $i' = 2{,}8$ Ampère beobachtet; die Bestimmungsgleichungen sind also für diesen Fall: $\frac{e}{w} = 6{,}2$ und $\frac{e}{w + 0{,}4} = 2{,}8$; deren Auflösung ergiebt: $w = 0{,}3$ (Ohm), $e = 1{,}9$ (Volt).

Die elektromotorische Kraft ist in Volt (ungefähr) für ein Bunsensches und Grovesches Element = 1,9, für ein Daniellsches = 1,1, bei diesem also nur wenig größer, bei jenen beinahe do[...] so groß als ein Volt. — Unter gleichen Größenverhältnissen ist der innere Widerstand bei [...]

Daniellschen Elemente etwa 6 mal so groß als bei einem Bunsenschen oder Groveschen, was hauptsächlich darin seinen Grund hat, daß Kupfervitriol schlechter leitet als Salpetersäure.

Als Maß der elektromotorischen Kraft läßt sich nach §. 139 auch die Potentialdifferenz benutzen, welche infolge der Kraft an den Polen der geöffneten Kette auftritt und mittelst eines Elektrometers gemessen werden kann. Indem man nun diejenige Potentialdifferenz = 1 setzt, welche an den Polen einer geöffneten Kette durch die elektromotorische Kraft 1 erzeugt wird, nimmt man diese Einheit, das Volt, auch als Einheit des Potentials oder Elektricitätsgrades. So hat z. B. bei einer Daniellschen Kette, deren elektromotorische Kraft ungefähr = 1 Volt ist, eben diesen Wert auch die Potentialdifferenz an den freien Polen oder der Elektricitätsgrad am positiven Pol, wenn der negative mit der Erde in Verbindung steht.

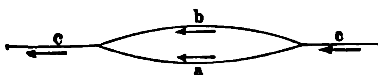
Da nach §. 128 ein Strömen der Elektricität nur zwischen Stellen von ungleichem Elektricitätsgrade stattfinden kann, so muß in einer geschlossenen Kette für zwei beliebige Punkte des Stromkreises stets ein Potentialunterschied vorhanden sein. Denken wir uns ein Voltasches Zink-Kupferelement. Die elektromotorische Kraft wirkt da, wo das Zink von der Flüssigkeit umspült wird. Bei der geöffneten Kette herrscht nun auf der nämlichen Seite dieser Fläche bis zu jedem Pole überall der gleiche Elektricitätsgrad; die Potentialdifferenz an den Polen ist eben so groß wie unmittelbar an der Berührungsfläche des Zinks und der Flüssigkeit. Wird aber die Kette geschlossen, so wird die Potentialdifferenz an den Polen infolge des fortwährenden Abströmens der Elektricität geringer, und es bleibt jener größte Wert, welcher die elektromotorische Kraft der Kette mißt, nur noch an der Berührungsfläche bestehen. Seinen höchsten Wert hat daselbst das Potential auf der Seite der Flüssigkeit; von dieser Stelle nimmt es durch die Flüssigkeit, das Kupfer, den Schließungsbogen und das Zink immer fort ab und erreicht so auf der anderen Seite der Berührungsfläche seinen niedrigsten Wert. Wie für den ganzen Stromkreis, so gilt nun das Ohmsche Gesetz auch für jeden Teil desselben, falls man an Stelle der elektromotorischen Kraft die an den Enden des Teiles bestehende Potentialdifferenz setzt. Es gilt also, wenn man den höheren der beiden Elektricitätsgrade mit v, den niederen mit v', den Widerstand des Stromleiters mit w, die Stromstärke mit i bezeichnet, die Gl.:

$$i = \frac{v - v'}{w} \text{ oder } v - v' = iw.$$

Die Potentialdifferenz zweier Stellen eines Stromkreises ist also gleich dem Produkte aus der Stromstärke und dem Widerstande des zwischenliegenden Leiters. — Die Potentialdifferenz an den Polen einer geschlossenen Stromquelle bezeichnet man auch als Klemmspannung.

***§. 148 b. Stromverzweigung.** Es teile sich eine Stromleitung an einer Stelle in zwei Zweige, welche an einer anderen Stelle wieder zusammentreffen (Fig. 176); ferner sei in jedem dieser Zweige (a und b) und in der Hauptleitung (c) je ein Galvanometer eingeschaltet. Die Beobachtung zeigt dann folgendes: Haben die Zweige gleichen Leitungswiderstand, so ist die Stromstärke in jedem die Hälfte von derjenigen in der Hauptleitung; findet der Strom aber in dem einen Zweige einen 2 mal größeren Widerstand als in dem anderen, so beträgt die Stromstärke bei dem ersteren nur $^1/_3$, bei dem letzteren dagegen $^2/_3$ von der Stromstärke in der Hauptleitung. — Allgemein besteht für eine Stromverzweigung, deren sämtliche Zweige von der nämlichen Stelle ausgehen und an einer anderen wieder zusammentreffen, das Gesetz:

(Fig. 176.)



1) Der Strom verteilt sich auf die Zweige nach dem umgekehrten Verhältnis ihrer Widerstände.

Denken wir uns ferner, eine Verzweigung bestehe aus zwei Kupferdrähten von gleicher Länge und gleichem Querschn[illegible] wirkt auf dem Strome offenbar

ebenso wie ein einziger Kupferdraht von gleicher Länge, aber doppeltem Querschnitt. Der Widerstand dieses letzteren Drahtes ist nun wegen seines doppelten Querschnittes nur halb so groß als der eines Zweiges. Gleiches gilt demnach auch von dem Widerstande, welchen die ganze Verzweigung dem Strome darbietet, oder es ist die Leitungsfähigkeit der Verzweigung das Doppelte von derjenigen eines Zweiges. Überhaupt gilt der Satz:

2) Die Leitungsfähigkeit einer Verzweigung ist gleich der Summe der Leitungsfähigkeiten der einzelnen Zweige.

Geht ein Strom etwa durch 10 Drähte von gleichem Widerstande, so hat derselbe in allen zusammen, falls sie hintereinander geschaltet sind, einen 10 mal größeren Widerstand zu überwinden als in einem allein, dagegen einen 10 mal kleineren, falls die Drähte nach Art einer Stromverzweigung sämtlich neben einander geschaltet sind. Im letzteren Falle leisten die 10 Drähte also einen 100 mal kleineren Widerstand als im ersteren. Wegen dieser bedeutenden Verminderung des Widerstandes wird die Nebeneinanderschaltung mit Vorteil da angewendet, wo man den Strom gleichzeitig durch mehrere bedeutenden Widerstand bietende Apparate, z. B. elektrische Glühlampen, zu führen hat. Hiermit ist zugleich noch der Vorteil verbunden, daß, wenn der Strom mal in einer der Lampen eine Unterbrechung erleidet, nur diese erlischt, indem er durch die anderen auch ferner noch hindurchfließt, während bei Hintereinanderschaltung sämtliche Lampen ausgehen würden.

Die obigen Gesetze lassen sich theoretisch auf folgende Weise ableiten: Zunächst ist klar, daß die Zweigströme zusammen so stark sein müssen wie der Hauptstrom, da sonst an den Teilungsstellen der Leitung eine Stauung eintreten müßte. Bei zwei Zweigen ist also, wenn wir die Stromstärke in den Zweigen mit i_1 und i_2, die Stärke des Hauptstromes mit i bezeichnen,

$$1, a)\quad i = i_1 + i_2.$$

Zufolge des vorig. §. muß ferner an den Enden der Stromverzweigung eine Potentialdifferenz bestehen und, wenn man dieselbe $= e$, die Widerstände der Zweige $= w_1$ und w_2 setzt, für den einen Zweig die Gl. $e = i_1 w_1$, für den anderen die Gl. $e = i_2 w_2$ gelten. Aus diesen Gleichungen folgt $i_1 w_1 = i_2 w_2$ oder

$$1, b)\quad i_1 : i_2 = w_2 : w_1 \text{ (Ges. 1).}$$

Hinsichtlich des zweiten Gesetzes wird zunächst hervorgehoben, daß die Leitungsfähigkeit der umgekehrte Wert des Widerstandes ist (s. §. 147). Entsprechend den vorhin für die einzelnen Zweige aufgestellten Gleichungen gilt nun für die ganze Verzweigung, wenn sie dem Strome etwa einen Widerstand w bietet, die Gl. $e = iw$. Es ist also $i = \frac{e}{w}$, ferner nach dem Vorhergehenden $i_1 = \frac{e}{w_1}$ und $i_2 = \frac{e}{w_2}$. Setzen wir diese Werte in Gl. 1, a ein, so entsteht nach Fortschaffung von e

$$2)\quad \frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} \text{ (Ges. 2).}$$

§. 149. Wirkungen des galvanischen Stromes. Die Wirkungen des galvanischen Stromes sind ihrer Natur nach die nämlichen, wie die des elektrischen Schlages; doch unterscheiden sie sich von denselben sehr erheblich in Hinsicht des Grades und der Dauer. Letzteres beruht darauf, daß sich beim elektrischen Schlage vorher angehäufte Elektricitätsmengen von mehr oder weniger hoher Spannung in einem augenblicklich wieder vorübergehenden Strome ausgleichen, sodaß selbst bei schnell auf einanderfolgenden Entladungen die Wirkungen nur unterbrochen, gleichsam stoßweise, stattfinden, während andererseits die galvanische Elektricität nur unbedeutende Spannungserscheinungen zeigt, aber in einem ununterbrochenen Strome dahinfließt. Dementsprechend sind z. B. die mechanischen Wirkungen des galvanischen Stromes im Gegensatze zu denen des elektrischen Schlages äußerst unbedeutend, da es für

derartige Wirkungen in erster Linie auf hohe Spannung ankommt; hingegen zeichnet sich der galvanische Strom durch solche Wirkungen aus, welche vor allem ein andauerndes Fließen großer Elektricitätsmengen erfordern, wie z. B. die chemischen Wirkungen.

Im folgenden sollen die hauptsächlichsten Wirkungen des galvanischen Stromes näher betrachtet werden und zwar zuerst diejenigen, welche im **Stromkreise** sich zeigen (§. 150—155), sodann die **Fernwirkungen** (§. 156—164).

§. 150 (145). **Physiologische Wirkungen.** Schaltet man in den Stromkreis einer aus zahlreichen Elementen bestehenden Batterie den eigenen Körper ein, indem man etwa den einen Poldraht in die eine, den anderen in die andere Hand nimmt, so empfindet man in dem Augenblicke des Schließens der Kette eine Erschütterung. Während der Strom durch den Körper hindurchfließt, hat man bei schwachen Batterieen keine besondere Empfindung, bei stärkeren stellt sich ein brennendes Gefühl ein. Die Erschütterung kehrt wieder, wenn man die Batterie öffnet. — Die Erschütterungen beim Öffnen und Schließen des Stromes werden stärker empfunden, wenn man die Poldrähte in größere Metallstücke enden läßt und letztere mit den zuvor naß gemachten Händen fest anfaßt; da nämlich die trockene Haut ein schlechter Leiter ist, so wird durch Anwendung der Feuchtigkeit und Vergrößerung der Oberfläche dem Strome der Übergang in den menschlichen Körper erleichtert. — Die Wirkung wird ferner sehr gesteigert durch rasch auf einander folgendes Öffnen und Schließen.

Man kann dies auf einfache Weise schon durch Anwendung einer Holzfeile erreichen, welche man mit dem einen Poldrahte verbindet, während man mit dem anderen rasch über die Feile hin und her fährt. — Besser eignet sich für diesen Zweck das **Unterbrechungsrad**. Dieses besteht aus einer kupfernen Scheibe, welche am Rande mit Ebenholz ausgelegte Einschnitte hat und um eine metallene, mit dem einen Pole zu verbindende Achse sich rasch herumdrehen läßt. Bei der Umdrehung der Scheibe kommt eine mit dem andern Pole in Verbindung zu setzende metallene Feder, welche dem Rande der Scheibe anliegt, bald mit dem schlecht leitenden Holze, bald mit dem Metalle in Berührung. Unter Anwendung eines solchen Rades können die Erschütterungen selbst bei einer Batterie von nur wenigen Elementen bis zum Unerträglichen gesteigert werden.

Die physiologischen Wirkungen des elektrischen Stromes finden Anwendung in der Heilkunde, insbesondere bei Lähmungen (s. auch §. 161).

Siehe ferner Galvanis Versuch in §. 139, Anm.

Berührt man mit dem einen Poldraht einer einfachen oder aus wenigen Elementen bestehenden Kette — bei zahlreichen würde die Wirkung zu heftig sein — den Körper in der Nähe des Auges, während man den anderen Poldraht mit der Hand anfaßt, so nimmt man beim Schließen und ebenso beim Öffnen der Kette einen Lichtschein wahr.

Bringt man die Zunge mit dem positiven oder negativen Poldrahte in Berührung, so hat man in dem einen Falle einen sauern, im anderen einen laugenartigen Geschmack.

Führt man den einen Poldraht einer Batterie ins Ohr, während man den anderen in der Hand hält, so hört man ein eigentümliches Geräusch.

Die Wirkung des Stromes auf den Geschmackssinn kann man auch sehr einfach beobachten, wenn man einen Streifen aus Zink und einen aus Kupfer (oder etwa einen silbernen Löffel) mit je einem Ende zusammenlegt und dann zwischen die anderen Enden die Zunge bringt.

Wie der elektrische Strom durch Erregung der Nerven physiologische Erscheinungen bewirkt, so können auch umgekehrt durch die Lebensthätigk[illegible] Tieren und Menschen elektrische Ströme hervorgerufen werden (tierische Elektricitä[illegible] Fische, insbesondere der Zitterrochen, Zitteraal, Zitterwels die Eigenschaft, [illegible] zu erteilen. Der Zitterrochen (über 1 m lang) findet sich in den [illegible] Mittelmeer. Der Zitterwels

(ungefähr 1,5 m lang) bewohnt die Flüsse im nördlichen Afrika. Beide vermögen nur schwache elektrische Schläge zu erteilen. Der Zitteraal (bis 2 m lang) lebt in Gewässern des nördlichen Südamerika. Er vermag so kräftige Schläge zu erteilen, daß dieselben selbst auf größere Tiere betäubend wirken können.

Das elektrische Organ dieser Fische besteht aus zahlreichen rundlichen oder eckigen Säulchen, welche aus vielen dünnen Blättchen zusammengesetzt sind. Beim Zitterrochen liegen die Säulchen im vorderen Teile des Leibes und haben die Richtung vom Rücken zum Bauche. Beim Zitteraal erstreckt sich das elektrische Organ der Länge nach durch den Körper; die Säulchen haben eine der Länge des Körpers parallele Richtung.

Die elektrischen Schläge sind dementsprechend beim Zitterrochen dann sehr stark, wenn man denselben zugleich am Bauche und am Rücken berührt, beim Zitteraal dagegen, wenn die Berührung gleichzeitig am Kopfe und am Schwanze stattfindet. Man hat durch diese Schläge selbst Funken, magnetische und chemische Wirkungen hervorgebracht, indem man an die Fische Metallplatten anlegte und diese durch einen Draht verband.

Auch in den Nerven und Muskeln anderer Tiere finden, wenn auch bei weitem schwächere elektrische Erregungen und Strömungen statt. Verbindet man Nerv und Muskel eines Froschschenkels mit einem empfindlichen Multiplikator, so zeigt die Ablenkung der Nadel einen dauernden Strom an. Sehr genaue Untersuchungen haben ergeben, daß überhaupt in jedem Muskel und Nerv schwache elektrische Ströme fließen, und daß solche insbesondere durch die Anstrengungen der Muskeln hervorgerufen werden. — Solche Untersuchungen sind besonders von du Bois-Reymond (1843) angestellt.

§. 151, a (147). **Chemische Wirkungen.** (Siehe zunächst §. 141, 1.) — Zusammengesetzte Flüssigkeiten, welche die Elektricität leiten, erfahren durch den elektrischen Strom stets eine Zersetzung. Die chemische Zerlegung eines Körpers durch den elektrischen Strom nennt man Elektrolyse, den zerlegten Körper selbst den Elektrolyten.

Wird Wasser durch den Strom zerlegt, so entwickelt sich an der positiven Elektrode der Sauerstoff, an der negativen der Wasserstoff. Überhaupt tritt bei der Elektrolyse eines Oxydes der Sauerstoff allemal an der positiven, der andere Bestandteil an der negativen Elektrode auf.

Allgemein spaltet der Strom den Elektrolyten in zwei Teile, von denen der eine stets an der positiven, der andere an der negativen Elektrode ausgeschieden wird. Die beiden Bestandteile kommen aber an den Elektroden nicht immer als solche zum Vorschein, indem dieselben sehr häufig infolge ihrer chemischen Verwandtschaft auf die Flüssigkeit oder die Elektroden einwirken und so ihrerseits in zweiter Linie chemische Umsetzungen hervorrufen.

Ein Salz wird durch den Strom so zerlegt, daß das Metall an der negativen, der Säurebestandteil an der positiven Elektrode ausscheidet. — Leitet man insbesondere den Strom durch die Lösung eines Salzes, z. B. des Kupfervitriols ($CuSO_4$, welches sich in Cu und SO_4 spaltet), indem man dabei als positive Elektrode ein Metall (Kupfer oder Zink) anwendet, welches von der Säure angegriffen wird, so vereinigt sich der Säurerest (SO_4) mit diesem Metall sofort wieder zu einem Salz (Kupfer- oder Zinkvitriol), welches sich in der Flüssigkeit auflöst. Es bleibt daher bei der Zersetzung von Kupfervitriol die Konzentration der Flüssigkeit dieselbe, wenn man als positive Elektrode eine Kupferplatte anwendet. — Besteht aber die positive Elektrode bei der Elektrolyse des Salzes einer Sauerstoffsäure (z. B. $CuSO_4$) aus einem Metall, welches von der Säure nicht angegriffen wird, etwa aus Platin, so wirkt der ausgeschiedene Säurebestandteil (SO_4) auf das vor-

handene Wasser (H_2O), und es entsteht an der positiven Elektrode die Säure (H_2SO_4) und freier Sauerstoff (O). — Bei der Elektrolyse eines Alkalisalzes, z. B. des Kochsalzes (Chlornatrium, NaCl, welches in Na und Cl zerlegt wird), oxydiert sich das an der negativen Elektrode freiwerdende Alkalimetall (Na) sofort auf Kosten des Wassers (H_2O) zu der betreffenden Base (NaHO) unter Entwicklung von Wasserstoff (H). Es entsteht also, wenn insbesondere das Alkalisalz einer Sauerstoffsäure, z. B. Glaubersalz (Na_2SO_4) zersetzt wird, an der negativen Elektrode die Base (2NaHO) und freier Wasserstoff (2 H), an der positiven aber die Säure (H_2SO_4) und freier Sauerstoff (O).

Die Zersetzung einer **Säure** entspricht derjenigen eines Salzes, indem der Wasserstoff, welcher in dem Salze durch das Metall vertreten ist, an der negativen, der Rest der Säure an der positiven Elektrode ausgeschieden wird. — Leitet man den Strom durch Salzsäure, einer Lösung von Chlorwasserstoffgas (HCl) in Wasser, so wird nur das von dem Wasser aufgenommene Gas (HCl) zerlegt, ebenso wie bei der Elektrolyse einer Salzlösung unmittelbar durch den Strom nur der gelöste Körper, nicht das Wasser eine Zersetzung erfährt. Letzteres tritt erst in zweiter Linie dann ein, wenn einer der durch den Strom frei gewordenen Bestandteile des Elektrolyts durch chemische Verwandtschaft auf das Wasser einwirkt. Hiernach erklärt sich die Erscheinung, daß bei der Elektrolyse der Lösung einer Sauerstoffsäure, z. B. der Schwefelsäure, die Bestandteile des Wassers frei werden, in der Weise, daß direkt durch den galvanischen Strom nur die Säure zersetzt wird, wobei der Wasserstoff (H_2) an der negativen Elektrode auftritt, während an der positiven Elektrode der Säurerest (SO_4) durch Einwirkung auf Wasser (H_2O) sich unter Entwicklung von Sauerstoff (O) wieder in Säure (H_2SO_4) umbildet, sodaß es den Anschein hat, als ob die Säure gar nicht, sondern nur das Wasser zersetzt worden wäre.

Die positive Elektrode bezeichnet man auch als **Anode**, die negative als **Kathode**.

Wenn man ein Stück angefeuchtetes Kali auf ein Platinblech legt, welches mit dem positiven Pole einer kräftigen Batterie verbunden ist, und das Kali mit einem Platindrahte berührt, welcher mit dem negativen Pole in Verbindung steht, so erscheinen an dem Drahte kleine Kügelchen des Kaliummetalles, welche sich jedoch in kurzer Zeit an der Luft wieder oxydieren. (Bringt man dieselben schnell auf Wasser, so entsteht eine lebhafte Verbrennung, indem das Kalium sich mit dem Sauerstoff des Wassers verbindet und die hierbei freiwerdende Wärme den Wasserstoff entzündet, s. §. 81, Anm.) — Leichter noch als Kali läßt sich Natron auf die angegebene Weise zerlegen.

(Fig. 177.)



Die Zerlegung eines Alkalisalzes, das Auftreten der Säure an der positiven, der Base an der negativen Elektrode läßt sich anschaulich zeigen, wenn man eine Uförmig gebogene Röhre BS (Fig. 177) z. B. mit einer Auflösung von Glaubersalz füllt, welche man durch einen Auszug von Veilchenblättern blaugefärbt hat. Taucht man in die beiden Schenkel dieser Röhre Platinbleche, welche man mit den Polen einer Batterie verbindet, so färbt sich die Flüssigkeit in dem Schenkel S, welcher mit dem positiven Poldrahte K in Verbindung steht, durch die sich hier sammelnde Säure rot, in dem anderen Schenkel B durch die hier auftretende Base grün. Vertauscht man die Poldrähte, so wechseln auch die Färbungen nach einiger Zeit.

Da chemisch **reines** Wasser den Strom so gut wie gar nicht leitet (vergl. §. 147), so kann es durch denselben auch nicht merklich zersetzt werden. Die Zerlegung des gewöhnlichen Wassers kommt hauptsächlich erst dar [illegible] daß geringe Mengen aufgelöster Salze oder Säuren das Leitungsvermögen der Flüssig[illegible]

Bei der Elektrolyse eines Körpers treten die Bestandteile desselben nur in unmittelbarer Nähe der Elektroden auf, während man an der zwischen denselben befindlichen Flüssigkeit keine Zersetzung wahrnimmt. Zur Erklärung dieser Erscheinung nimmt man an, daß von den beiden Bestandteilen, in welche ein Elektrolyt durch den Strom zerlegt wird, sich der an der positiven Elektrode auftretende (z. B. Sauerstoff, Chlor) elektronegativ, der an der negativen Elektrode auftretende (z. B. Metall, Wasserstoff) aber elektropositiv verhält. Leitet man nun etwa den Strom durch Salzsäure (Chlorwasserstoff), so wird in den die positive Elektrode berührenden Chlorwasserstoffteilchen das elektronegative Chlor angezogen, der elektropositive Wasserstoff abgestoßen; dieser vereinigt sich aber sogleich wieder mit dem elektronegativen Chlor des nächstfolgenden Teilchens zu Chlorwasserstoff, wodurch von neuem Wasserstoff entbunden wird, welcher sich mit dem Chlor des folgenden Teilchens verbindet, und so fort bis zu der negativen Elektrode hin, welche den freigewordenen Wasserstoff anzieht.

Nach dem Obigen lassen sich nun auch die chemischen Vorgänge im Innern einer geschlossenen Kette genauer als bislang erklären. Wir heben kurz das Folgende hervor: — In der Voltaschen Kette wird die Schwefelsäure H_2SO_4 in H_2 und SO_4 zerlegt; letzteres vereinigt sich mit Zn zu $ZnSO_4$, während H_2 an der Kupferplatte frei wird. — In der Daniellschen Kette wird neben der Schwefelsäure Kupfervitriol $CuSO_4$ in Cu und SO_4 gespalten; letzteres verbindet sich mit dem H_2 der Schwefelsäure durch die Thonzelle hindurch zu H_2SO_4, während sich Cu an der Kupferplatte niederschlägt. — In der Bunsenschen und Groveschen Kette wird neben der Schwefelsäure die Salpetersäure HNO_3 durch den Strom zerlegt und zwar zerfällt $2\,HNO_3$ in $2\,H$ und $2\,NO_3$; letzteres verbindet sich mit dem H_2 der Schwefelsäure zu $2\,HNO_3$, während $2\,H$ durch einen anderen Teil der Salpetersäure zu Wasser oxydiert wird nach der Gl.: $2H + 2HNO_3 = 2H_2O + 2NO_2$.

Von Erscheinungen, welche auf Elektrolyse beruhen, führen wir ferner noch die folgenden an: Taucht man in eine Auflösung von Bleizucker*) (essigsaurem Bleioxyd) einen Zinkstab, so tritt zunächst in dem Bleizucker wegen der größeren chemischen Verwandtschaft Zink an die Stelle von Blei, welches sich an den Zinkstab ansetzt. Das ausgeschiedene Blei, das Zink und die Flüssigkeit bilden nun eine galvanische Kette, in welcher der Strom durch die Flüssigkeit zum Blei geht (s. §. 140). Infolgedessen findet die fernere Ausscheidung des Bleies nicht mehr an dem Zink, sondern an dem schon ausgeschiedenen Blei (der negativen Elektrode) statt, und es entsteht so, indem sich das Blei in Gestalt kleiner Schüppchen immer von neuem an den Spitzen der schon ausgeschiedenen absetzt, ein sogenannter Bleibaum.

Stellt man einen blanken Eisenstab mit einem Zinkstabe verbunden in Wasser, so rostet derselbe bei weitem langsamer, als ohne den Zinkstab der Fall sein würde, was sich daraus erklärt, daß das Zink, das Eisen und das Wasser eine Kette bilden, bei welcher das Eisen in der Flüssigkeit elektronegativ ist und so den ebenfalls elektronegativen Sauerstoff abstößt. Man versieht daher Eisen, welches der Feuchtigkeit ausgesetzt werden muß, zum Schutze gegen Rost mit einem dünnen Überzuge von Zink (s. §. 152).

Chemisch reines Zink wird von verdünnten Säuren nicht angegriffen, während das gewöhnliche käufliche Zink, welches durch andere Stoffe, Metalle und Kohle, verunreinigt ist, sich rasch darin auflöst. Die Beimengungen bilden nämlich mit dem Zink und der Flüssigkeit eine Kette, bei welcher das Zink in der Flüssigkeit elektropositiv ist. Umgekehrt kann man das Zink vor dem Angriff der Säure durch einen Überzug von Amalgam (s. §. 140) schützen, indem es dann in der Flüssigkeit, ähnlich wie Eisen in Verbindung mit Zink, elektronegativ wird.

***§. 151, b. Elektrolytische Gesetze.** Genaue Abmessungen haben ergeben, daß die chemischen Zersetzungen durch den galvanischen Strom nach den folgenden (von Faraday 1833 aufgestellten) Gesetzen vor sich gehen:

1) Die chemische Wirkung des Stromes ist der Stärke desselben proportional. — Über den Nachweis dieses schon in §. 146 hervorgehobenen Gesetzes siehe daselbst die Anmerkung.

*) Eine angemessene Mischung ist 6 g Bleizucker, 600 g Wasser und 3 g Essig.

2) Die Gewichtsmengen verschiedener durch denselben Strom (oder durch gleiche starke Ströme) zerlegten Stoffe sind untereinander chemisch gleichwertig (s. §. 88). Geht z. B. ein Strom gleichzeitig durch Wasser (H_2O), Kochsalz (NaCl) und Kupfervitriol ($CuSO_4$), so werden auf 2 Verbindungsgewichte Wasserstoff im Wasser beim Kochsalz ebenfalls 2 Verbindungsgewichte Natrium, beim Kupfervitriol aber nur 1 Verbindungsgewicht Kupfer frei; der Strom zersetzt also auf 1 Verbindungsgewicht Wasser (H_2O), 2 Verbindungsgewichte Kochsalz (2NaCl) und ein Verbindungsgewicht Kupfervitriol ($CuSO_4$).

Recht anschaulich läßt sich das 2. Gesetz durch den folgenden Versuch nachweisen: Leitet man einen Strom gleichzeitig durch Salzsäure (HCl), angesäuertes Wasser (H_2O) und Ammoniakwasser (H_3N), so entwickelt sich aus allen drei Verbindungen 1 Vol. Wasserstoff (H = 1), ferner aus der Salzsäure 1 Vol. Chlor (Cl = 35,4), aus dem Wasser dagegen nur $^1/_2$ Vol. Sauerstoff ($^1/_2$O = 8) und aus dem Ammoniak nur $^1/_3$ Vol. Stickstoff ($^1/_3$ N = 4,7).

Zufolge der obigen Gesetze läßt sich mit Hülfe der chemischen Verbindungsgewichte für jeden einzelnen Fall im voraus berechnen, welche Menge eines Bestandteiles ein Strom von bekannter Stärke beim Durchgange durch einen Elektrolyten in einer bestimmten Zeit ausscheidet, falls man überhaupt die Stromstärke einmal in einem chemischen Maße gemessen hat. Nach §. 146 entwickelt ein Strom von der Stärke 1 Ampère in 1 Min. (rund) 10,5 ccm Knallgas; diese enthalten $^2/_3$. 10,5 = 7 ccm Wasserstoff, welche (nach §. 74) 7 . 0,09 = 0,63 mg wiegen; da nun 1 H gleichwertig $^1/_2$ Cu = $^1/_2$. 63,5 (§. 80) ist, so muß ein Strom bei der Stärke 1 Amp. in 1 Min. $^1/_2$. 63,5 . 0,63 = 20 mg Kupfer niederschlagen. — Bei Anwendung genauerer Zahlen ergiebt sich in voller Übereinstimmung mit den Messungen, daß ein Strom von 1 Amp. in 1 Min. z. B. folgende Mengen ausscheidet: Knallgas = 10,4 ccm; Kupfer = 19,7 mg; Silber = 67,1 mg; Zink = 20,2 mg.

Auch für die Vorgänge im Innern einer Kette haben die elektrolytischen Gesetze ihre Gültigkeit, woraus dann hervorgeht: Die Zinkmenge, welche in einer Kette durch den eigenen Strom aufgelöst wird, ist der Stromstärke proportional. Liefert insbesondere eine Batterie einen Strom von 1 Amp., so werden nach dem Vorstehenden in jedem Elemente während 1 Min. etwas über 20 mg Zink aufgelöst. In einer Daniellschen Kette schlägt sich zugleich in jedem Elemente eine gleichwertige Menge Kupfer, etwas weniger als 20 mg nieder.

§. 152 (148). **Anwendungen der Elektrolyse.** Dieselben beruhen auf der Eigenschaft des elektrischen Stromes, Metalle aus ihren Lösungen an der negativen Elektrode auszuscheiden.

1) Leitet man einen (nicht zu kräftigen) Strom durch eine Kupfervitriollösung, indem man als negative Elektrode eine blanke Platte eines anderen Metalles anwendet, so ist diese nach einiger Zeit mit einem dünnen, gleichmäßigen Überzuge von metallischem Kupfer bekleidet, welcher fest an der Platte haftet. In ähnlicher Art versieht man metallene Gegenstände unter Benutzung der passenden Metalllösung mit einem Überzuge von Gold, Silber, Nickel und anderen Metallen, führt mit anderen Worten eine galvanische Vergoldung, Versilberung u. s. w. aus. — Damit der Metallgehalt der anzuwendenden Flüssigkeit unverändert bleibt, nimmt man als positive Elektrode eine Platte aus dem gleichen Metall (Gold oder Silber u. s. w.), wie in der Lösung enthalten ist.

Durch Ausscheidung von Kupfer auf galvanischem Wege stellt man ferner Nachbildungen von Münzen und ander[illegible] [illegible]nständen her. Man verfertigt zunächst einen Abdruck des Gegenstandes [illegible] [illegible]percha, welchen man, um ihn leitend zu machen, mit Graphit üb[illegible] [illegible]verbindet man mit dem

negativen Pol einer schwachen galvanischen Kette und taucht sie in eine Lösung von Kupfervitriol, in welche der Form gegenüber eine mit dem positiven Pol verbundene Kupferplatte eingetaucht ist. Die Form bekleidet sich dann mit einem Überzuge von Kupfer, welcher nach wenigen Tagen eine solche Dicke erreicht, daß er sich ablösen läßt und eine sehr treue Nachbildung des Originals gewährt. — Die vorstehend beschriebenen Anwendungen der Elektrolyse bezeichnet man mit gemeinsamem Namen als **Galvanoplastik**.

Da der Strom eines Daniellschen Elementes in der Kette selbst eine Ausscheidung von Kupfer bewirkt, so benutzt man häufig zur Herstellung galvanoplastischer Nachbildungen einen nach Art dieser Kette eingerichteten Apparat (Fig. 178). In ein Gefäß, welches eine konzentrierte Auflösung von Kupfervitriol enthält, ist ein zweites Gefäß eingehängt, welches unten durch eine (poröse) Tierblase geschlossen und mit sehr verdünnter Schwefelsäure angefüllt ist. In der Säure befindet sich eine Zinkplatte Z, in dem Kupfervitriol aber dicht unter der Blase die Form K; beide sind durch einen Draht verbunden, welcher, soweit er in das Kupfervitriol taucht, mit Siegellack oder Kautschuk überzogen ist. — Die Form stellt man bequem auf die Weise her, daß man den Gegenstand in Guttapercha abdrückt, welche man vorher in heißem Wasser erweicht hat. Den Abdruck macht man durch Überpinseln mit Graphit leitend und befestigt nun die Form K so an den Draht D, daß dieser mit dem Graphitüberzuge in unmittelbare Berührung kommt. — Der Kupfervitriollösung setzt man ferner noch einige Stücke ungelösten Vitriols zu, um die Flüssigkeit beständig konzentriert zu erhalten.

(Fig. 178.)



Man wendet die Galvanoplastik besonders auch zur Vervielfältigung von Holzschnitten an, da die galvanoplastischen Nachbildungen den Vorteil bieten, daß sie weit mehr Abdrücke als die Holzschnitte selbst auszuhalten vermögen und von einem Holzschnitte in größerer Zahl angefertigt werden können.*) — Ebenso benutzt man den galvanischen Niederschlag zur Vervielfältigung von Kupferstichen u. a. m.

Die ersten galvanoplastischen Versuche sind fast gleichzeitig (1838) von **Jacobi** in Petersburg und **Spencer** in England angestellt worden.

2) In neuerer Zeit findet die Eigenschaft des galvanischen Stromes, Metalle aus ihren Lösungen niederzuschlagen, auch mit Erfolg Anwendung zur **Reingewinnung von Metallen** aus ihren Erzen und anderen Verbindungen.

Hierzu sowie zu größeren galvanoplastischen Arbeiten wird übrigens die Elektricität nicht durch galvanische Batterieen, sondern durch dynamoelektrische Maschinen entwickelt (§. 162).

***§. 153** (150, b). **Polarisation. Akkumulatoren.** Wenn man zwei Platinplatten, welche einander gegenüber in ein Gefäß mit Wasser eingesenkt sind, mit den Polen einer galvanischen Batterie verbindet, so findet nach §. 141 eine Zersetzung des Wassers statt. Dieselbe zeigt anfangs die größte Lebhaftigkeit, erfolgt dann aber sehr bald mit erheblich verminderter Stärke. — Hebt man nun die Verbindung der Platinplatten mit der Batterie auf und verbindet dieselben statt dessen

*) Auch die diesem Buche beigefügten Figuren sind mit Benutzung galvanoplastischer Kupferplatten abgedruckt worden.

mit den Drahtenden eines Multiplikators, so zeigt letzterer durch den Ausschlag seiner Nadel einen Strom an. Dieser Strom, welcher bald schwächer wird und allmählich wieder ganz verschwindet, durchläuft den Zersetzungsapparat in einer Richtung, welche derjenigen des ursprünglich hindurch gesandten Stromes entgegengesetzt ist.

Die Erklärung der hier angegebenen Erscheinung ist folgende: Indem sich bei der Zersetzung des Wassers an der positiven Elektrode Sauerstoff, an der negativen Wasserstoff entwickelt, werden die Elektroden mit verdichteten Schichten der betreffenden Gase überzogen. Diese Gasschichten rufen nun in dem Apparate eine elektromotorische Kraft auf ähnliche Weise hervor, wie dies bei einer galvanischen Kette der Fall ist, und es entsteht so, während sich die beiden Gase wieder zu Wasser vereinigen, ein elektrischer Strom, der durch die Flüssigkeit vom Wasserstoff zum Sauerstoff geht, also dem ursprünglichen entgegengesetzt gerichtet ist. — Man bezeichnet die so hervorgerufenen Ströme als **Polarisationsströme**. Die elektrische Energie dieser Ströme entsteht durch Umwandlung von chemischer Energie, welche ihrerseits erst auf Kosten der Energie eines schon vorhandenen Stromes durch Trennung chemischer Verbindungen erzeugt worden ist.

Aus dem Vorstehenden erklärt sich auch die Erscheinung, daß die anfangs kräftigen Wirkungen einer Voltaschen Kette (Zink, Kupfer, angesäuertes Wasser) sehr rasch nachlassen. Indem sich nämlich das Kupfer infolge der durch den Strom in der Kette bewirkten Wasserzersetzung mit einer Schicht von Wasserstoffgas bekleidet, wird in der Kette durch Polarisation eine neue elektromotorische Kraft hervorgerufen, welche der ursprünglichen Kraft der Kette gerade entgegenwirkt und so den durch die letztere erzeugten Strom schwächt. Bei den konstanten Ketten wird die schädliche Wirkung einer Polarisation dadurch beseitigt oder doch wesentlich vermindert, daß man, wie schon in §. 143 angegeben, das Auftreten von freiem Wasserstoff zu verhindern sucht.

Einen stärkeren Polarisationsstrom als bei der Wasserzersetzung erhält man, wenn der galvanische Strom durch zwei in angesäuertem Wasser stehende Bleiplatten hindurch geschickt wird, wobei der an der positiven Elektrode entstehende Sauerstoff Blei oxydiert, an der negativen Elektrode aber freier Wasserstoff auftritt, während bei der Entladung des Apparates das oxydierte Blei wieder reduziert wird. Derartige **sekundäre Elemente**, zu Batterieen vereinigt, liefern recht kräftige Ströme, welche jedoch in kurzer Zeit bedeutend nachlassen. Mit vervollkommneten Sekundärelementen, den **Akkumulatoren**, vermag man neuerdings starke und andauernde Ströme zu erzeugen. Da die Akkumulatoren längere Zeit nach ihrer Ladung noch wirksam bleiben, so kann man vermittelst derselben elektrische Energie aufspeichern, um sie später und an anderen Orten wieder nutzbar zu machen.

In den Akkumulatoren sind die Bleiplatten beide mit einer Schicht aus verschiedenen Oxyden des Bleies (Mennige, Bleiglätte) überzogen. Beim Laden durch den primären Strom wird die Oxydschicht an der einen Platte noch höher (zu Bleisuperoxyd) oxydiert, an der anderen dagegen zu Blei reduziert. Um ein möglichst geringes Gewicht und eine große Oberfläche der Platten zu erzielen, sind letztere gitterartig durchlöchert. — Die elektromotorische Kraft eines Akkumulators kann beim Laden bis auf die Höhe von 2,3 Volt gebracht werden, sinkt aber sehr bald auf 2 Volt, welcher Wert dann nur allmählich weiter abnimmt.

Die Akkumulatoren finden in neuerer Zeit Anwendung unter Benutzung dynamoelektrischer Maschinen (s. §. 162) für elektrische Beleuchtung und zum Betriebe kleinerer Arbeitsmaschinen (s. §. 163).

§. 154 (146). **Wärme- und Lichterscheinungen.** 1) Leitet man einen kräftigen Strom durch einen dünnen Draht, so wird der letztere glühend und selbst geschmolzen. Überhaupt entsteht in jedem Körper, welcher von einem elektrischen Strome durchflossen wird, Wärme, und zwar ist die Wärmeentwicklung um so bedeutender, je stärker der Strom und je größer der Leitungswiderstand des Körpers ist. Zur Überwindung dieses Widerstandes wird ein Teil der Stromenergie verbraucht und dabei in Wärme umgewandelt.

Das galvanische Glühlicht eines dünnen Kohlenfadens dient als Beleuchtungsquelle in den Glühlampen.

(Fig. 179.)



Die elektrische Glühlampe (Fig. 179) besteht aus einer kleinen Glasglocke, in welche zwei Platindrähte p, p eingeschmolzen sind; mit diesen in Verbindung befindet sich im Innern ein haarfeiner Kohlenfaden k, welcher in hellem, weißem Lichte erglüht, wenn der Strom mittelst der dickeren Platindrähte hindurch geleitet wird. Um die Verbrennung des Kohlenfadens möglichst zu verhindern, ist die Glasglocke luftleer gemacht. Der Kohlenfaden wird gewöhnlich aus Pflanzenfasern, wie Baumwolle u. a., hergestellt. Die Lichtstärke ist je nach der Einrichtung der Lampe etwa gleich 10—50 Normalkerzen (§. 188). — Die ersten brauchbaren Glühlampen sind (1879) von Edison in Nordamerika angefertigt worden.

Die Erhitzung dünner Drähte durch den Strom benutzt man beim Sprengen, um die Entzündung auf gefahrlose Weise aus weiter Ferne zu bewirken. Zu dem Zweck geht durch die Zündmasse ein feiner Draht, welcher mit dickeren Leitungsdrähten in Verbindung gesetzt wird (s. auch §. 133, c). — Das galvanische Glühen dünner Platindrähte findet erfolgreiche Anwendung in der Heilkunde zum Abtrennen von Geschwulsten.

2) Infolge der geringen Spannung, welche die Elektricität an den Polen einer galvanischen Kette besitzt, kann man die Poldrähte einander bis auf einen äußerst kleinen Abstand nähern, ohne daß Funken überspringen. Selbst bei sehr starken Batterieen zeigen sich erst dann schwache Funken, wenn die Drähte einander fast berühren.

Eine weit stärkere Lichterscheinung tritt auf, wenn die in Berührung gebrachten Drähte wieder getrennt werden. Dieselbe erklärt sich daraus, daß die Enden der Poldrähte in dem Augenblick des Trennens infolge der dabei stattfindenden Verminderung des Querschnittes wie dünne Drähte ins Glühen geraten und sogar geschmolzen werden. Bei Anwendung einer kräftigen Batterie findet zwischen den Polen auch dann noch fortgesetzt ein Übergang der Elektricität unter lebhafter Lichtentwicklung statt, wenn man dieselben nach ihrer gegenseitigen Berührung nur wenig von einander entfernt. Es ist dies eine Folge des Umstandes, daß Teilchen der glühenden Pole durch den Strom losgerissen und von einem zum andern übergeführt werden, und daß diese Teilchen zwischen den Polen eine leitende Verbindung herstellen. Ein ungemein helles Licht entsteht insbesondere, wenn man den Strom auf die angegebene Weise zwischen zugespitzten Stücken aus Gaskohle übergehen läßt, wobei sich die Kohlenspitzen bis zu blendender Weißglut erhitzen. Man nennt diese Erscheinung den galvanischen Lichtbogen. Vermittelst starker Ströme kann man

mit den Drahtenden eines Multiplikators, so zeigt letzterer durch den Ausschlag seiner Nadel einen Strom an. Dieser Strom, welcher bald schwächer wird und allmählich wieder ganz verschwindet, durchläuft den Zersetzungsapparat in einer Richtung, welche derjenigen des ursprünglich hindurch gesandten Stromes entgegengesetzt ist.

Die Erklärung der hier angegebenen Erscheinung ist folgende: Indem sich bei der Zersetzung des Wassers an der positiven Elektrode Sauerstoff, an der negativen Wasserstoff entwickelt, werden die Elektroden mit verdichteten Schichten der betreffenden Gase überzogen. Diese Gasschichten rufen nun in dem Apparate eine elektromotorische Kraft auf ähnliche Weise hervor, wie dies bei einer galvanischen Kette der Fall ist, und es entsteht so, während sich die beiden Gase wieder zu Wasser vereinigen, ein elektrischer Strom, der durch die Flüssigkeit vom Wasserstoff zum Sauerstoff geht, also dem ursprünglichen entgegengesetzt gerichtet ist. — Man bezeichnet die so hervorgerufenen Ströme als **Polarisationsströme**. Die elektrische Energie dieser Ströme entsteht durch Umwandlung von chemischer Energie, welche ihrerseits erst auf Kosten der Energie eines schon vorhandenen Stromes durch Trennung chemischer Verbindungen erzeugt worden ist.

Aus dem Vorstehenden erklärt sich auch die Erscheinung, daß die anfangs kräftigen Wirkungen einer Voltaschen Kette (Zink, Kupfer, angesäuertes Wasser) sehr rasch nachlassen. Indem sich nämlich das Kupfer infolge der durch den Strom in der Kette bewirkten Wasserzersetzung mit einer Schicht von Wasserstoffgas bekleidet, wird in der Kette durch Polarisation eine neue elektromotorische Kraft hervorgerufen, welche der ursprünglichen Kraft der Kette gerade entgegenwirkt und so den durch die letztere erzeugten Strom schwächt. Bei den konstanten Ketten wird die schädliche Wirkung einer Polarisation dadurch beseitigt oder doch wesentlich vermindert, daß man, wie schon in §. 143 angegeben, das Auftreten von freiem Wasserstoff zu verhindern sucht.

Einen stärkeren Polarisationsstrom als bei der Wasserzersetzung erhält man, wenn der galvanische Strom durch zwei in angesäuertem Wasser stehende Bleiplatten hindurch geschickt wird, wobei der an der positiven Elektrode entstehende Sauerstoff Blei oxydiert, an der negativen Elektrode aber freier Wasserstoff auftritt, während bei der Entladung des Apparates das oxydierte Blei wieder reduziert wird. Derartige **sekundäre Elemente**, zu Batterien vereinigt, liefern recht kräftige Ströme, welche jedoch in kurzer Zeit bedeutend nachlassen. Mit vervollkommneten Sekundärelementen, den **Akkumulatoren**, vermag man neuerdings starke und andauernde Ströme zu erzeugen. Da die Akkumulatoren längere Zeit nach ihrer Ladung noch wirksam bleiben, so kann man vermittelst derselben elektrische Energie aufspeichern, um später und an anderen Orten wieder nutzbar zu machen.

In den Akkumulatoren sind die Bleiplatten beide mit einer Schicht aus verschiedenen Oxyden des Bleies [illegible] überzogen. Beim Laden durch den primären Strom wird [illegible] an der einen Platte noch weiter (zu Bleisuperoxyd) oxydiert, an der anderen dagegen [illegible]. Um ein möglichst geringes Gewicht und eine große Oberfläche der Platten zu erzielen, [illegible] — Die elektromotorische Kraft eines Akkumulators kann beim Laden bis auf die Höhe von 2,3 Volt gebracht werden, sinkt aber bald auf 2 Volt, welcher Wert dann nur allmählich weiter abnimmt.

Kette verbrauchten Zinks proportional (s. §. 151, b), woraus folgt: — **Die gesamte im Stromkreise entwickelte Wärmemenge ist der Menge des zur Erzeugung des Stromes verbrauchten Zinks proportional.**

Nach der Anm. b. §. 148, a gilt Gl. 2 ebenfalls für einen einzelnen Teil des Stromkreises, wenn unter e die Potentialdifferenz an den Endpunkten dieses Teiles verstanden wird.

Nimmt man als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge, durch welche die Temperatur von 1 g Wasser um 1° erhöht wird, so ist nach genauen Messungen die Wärmemenge, welche ein Strom von der Stärke 1 Ampère in einem Widerstande 1 Ohm in 1 Sek. entwickelt, also bei den angegebenen Einheiten in Gl. 1 u. 2 die Größe $\alpha = 0{,}24$, wobei dann für Gl. 2 die Potentialdifferenz in Volt zu messen ist. Es ist also in Grammkalorien die in 1 Sek. erzeugte Wärmemenge

$$Q = 0{,}24 \,.\, \text{Volt} \,.\, \text{Ampère}.$$

Diese Wärmemenge stellt nach §. 253, a die von dem Strom in 1 Sek. geleistete Arbeit dar und zwar in dem Sinne, daß 1 Grammkalorie = 0,424 mkg ist. Der Strom leistet also bei der Potentialdifferenz 1 Volt und der Stromstärke 1 Ampère in 1 Sek. eine Arbeit von 0,24 . 0,424 = 0,102 mkg; es ist kurz 1 Volt-Ampère = 0,102 mkg. Für einen beliebigen Strom ist also in Sekundenmeterkilogramm der Arbeitseffekt

$$A = 0{,}102 \,.\, \text{Volt} \,.\, \text{Ampère}.$$

Hinsichtlich dieses Wertes bemerken wir noch, daß die Einheiten Volt und Ampère unter Zugrundelegung des absoluten Maßsystems so gewählt worden sind, daß 1 Volt-Ampère = 10^7 Erg (§. 36) $= \frac{1}{g}$ mkg ist, wenn unter g die Fallbeschleunigung in Meter (= 9,8) verstanden wird; in Übereinstimmung mit dem Obigen ist eben $\frac{1}{9{,}8} = 0{,}102$. Man hat demnach für den Arbeitseffekt eines Stromes den Ausdruck

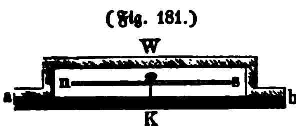
$$A = \frac{1}{g} \,.\, \text{Volt} \,.\, \text{Ampère}.$$

Der Stromeffekt in Meterkilogramm ist gleich dem Produkte aus der Potentialdifferenz in Volt und der Stromstärke in Ampère, dividiert durch die Fallbeschleunigung in Meter.

***§. 155 (151). Thermoelektricität.** Zufolge des vorig. §. setzt sich die Energie des elektrischen Stromes da, wo dieser Widerstand findet, in Wärme um; umgekehrt vermag auch unter geeigneten Umständen Wärme elektrische Energie zu erzeugen, wie das Folgende näher zeigt.

Es seien zwei metallene Streifen, der eine W aus Wismut, der andere K aus Kupfer (Fig. 181) mit ihren Enden bei a und b zusammengelötet; ferner sei zwischen ihnen eine Magnetnadel ns angebracht, und diese Vorrichtung im magnetischen Meridian aufgestellt. Erwärmt man nun die eine der beiden Lötstellen, entweder a oder b, so dreht sich die Nadel und zwar um so stärker, je mehr die Temperatur der Lötstelle zunimmt. In der von den beiden Metallen gebildeten Kette entsteht also dadurch, daß man der einen Lötstelle Wärme zuführt, ein elektrischer Strom; derselbe hält so lange an, wie ein Temperaturunterschied zwischen den beiden Lötstellen vorhanden ist. Aus der Ablenkung der Nadel ergiebt sich nach der Ampèreschen Regel, daß dieser Strom durch die erwärmte Lötstelle vom Wismut zum Kupfer geht. — Wenn man die nämliche Lötstelle nicht erwärmt, sondern abkühlt, so wird ebenfalls ein Strom hervorgerufen, der aber in entgegengesetzter Richtung durch die Kette fließt.

(Fig. 181.)



zwischen Kohlenspitzen elektrisches Bogenlicht erzeugen, welches alle irdischen Licht- und Wärmequellen bedeutend an Helligkeit und Hitze übertrifft. — Dasselbe wird zur Beleuchtung in den elektrischen **Bogenlampen** verwendet.

Der Lichtbogen zwischen Kohlenspitzen kann bei starken Strömen eine Länge von mehreren Centimetern erreichen, indem gerade bei der Kohle zahlreiche glühende Teilchen durch den Strom losgerissen und mitgeführt werden. Hauptsächlich geschieht dies am positiven Pole; derselbe brennt dabei etwa doppelt so schnell ab wie der negative und nimmt eine ausgehöhlte Gestalt an, wie Fig. 180 zeigt; zugleich erglüht er stärker als der negative, was alles im Zusammenhange damit steht, daß die Erhitzung an dem ersteren größer ist als an dem letzteren. Die Glut an den Kohlenspitzen ist so bedeutend, daß selbst dicke Platindrähte in derselben schmelzen; die Temperatur wird auf 2—4000° geschätzt; trotzdem ist aber infolge der geringen Ausdehnnug der Glutfläche die nach außen strahlende Wärme nur gering. — Die Lichtstärkt einer gewöhnlichen Bogenlampe beträgt etwa 400, die des stärksten Bogenlichtes über 30 000 Kerzen.

(Fig. 180.)



Da die Kohlenspitzen sich beim Gebrauch allmählich verzehren und hierdurch ihre Entfernung von einander vergrößern, so versieht man die Bogenlampen mit Regulatoren, durch welche die Spitzen stets in dem nämlichen Abstande erhalten werden; betreffs dieser Regulierung bemerken wir nur, daß dieselbe gewöhnlich durch den Strom selbst mit Hülfe eines Elektromagnets (s. §. 156) bewirkt wird. Die Bogenlampen finden neuerdings immermehr Verwendung für große Verhältnisse, z. B. bei Leuchttürmen, zur Beleuchtung von Plätzen, Straßen u. a. m.

Die Erzeugung des elektrischen Lichtes im großen geschieht übrigens nicht durch galvanische Batterieen, deren Unterhaltung durch den Verbrauch an Zink und Säure sehr kostspielig sein würde, sondern durch dynamoelektrische Maschinen (s. §. 162).

Über die Entwicklung von Wärme durch den elektrischen Strom führen wir noch das Folgende an: — Leitet man den Strom durch einen dünnen Platindraht, welcher in eine nicht leitende Flüssigkeit, z. B. Weingeist, eingetaucht ist, so läßt sich die Menge der in dem Draht entstehenden Wärme (s. §. 236) aus der Temperaturzunahme des Weingeistes, der specifischen Wärme (§. 247) und dem Gewichte desselben bestimmen. Solche Versuche führen zu dem folgenden von dem Engländer Joule (1841) aufgestellten Gesetze:

Die während einer bestimmten Zeit in einem Teile des Stromkreises entwickelte Wärmemenge ist dem Quadrate der Stromstärke und dem Widerstande dieses Teiles proportional. — Bezeichnen wir die Wärmemenge, welche ein Strom von der Stärke 1 in einem Leiter vom Widerstande 1 während der Zeit 1 entwickelt, mit α, so entsteht also während derselben Zeit durch einen Strom von der Stärke i in einem Leiter vom Widerstande w die Wärmemenge

$$1)\quad Q = \alpha w i^2.$$

Dabei ist vorausgesetzt, daß der Strom auf seinem Wege durch den betreffenden Leiter außer der Überwindung des von dem letzteren geleisteten Widerstandes keine anderweitige Arbeit, wie etwa chemische Zersetzung oder Ablenkung einer Magnetnadel, zu verrichten hat.

Ebenso wie in dem Schließungsbogen wird auch in der Kette selbst durch den Strom Wärme erzeugt. Verstehen wir unter w den Widerstand des ganzen Stromkreises, so giebt uns Gl. 1 die gesamte im Stromkreise während der Zeiteinheit hervorgerufene Wärmemenge an. Nun ist, wenn wir die elektromotorische Kraft der Kette mit e bezeichnen, nach dem Ohmschen Gesetze (§. 148, a) $e = wi$; durch Einsetzung dieses Wertes geht Gl. 1 über in

$$2)\quad Q = \alpha e i.$$

Es ist mithin die im ganzen Stromkreise entstehende Wärmemenge bei unveränderter elektromotorischer Kraft e der Stromstärke i proportional; der letzteren ist aber auch die Menge des in der

räume zwischen den einzelnen Stäbchen durch eine nicht leitende Masse ausfüllt. Eine solche Thermosäule in Verbindung mit einem Multiplikator ist ein äußerst empfindliches Thermometer. Nähert man z. B. einer Seite der Säule die Hand, so bewirkt deren Wärme schon eine merkliche Ablenkung der Multiplikatornadel. (Über die Anwendung des Thermomultiplikators siehe auch §. 249.)

Selbst aus zahlreichen Wismut-Antimonelementen hergestellte Thermosäulen geben nur schwache Ströme, zumal man die Lötstellen bei diesen Metallen, welche leicht schmelzen, nur mäßigen Temperaturen aussetzen darf. Andererseits hat man aber aus gewissen Metalllegierungen (z. B. Neusilber und einer Legierung von Antimon und Zink) Thermosäulen hergestellt, welche eine starke Erwärmung der Lötstellen durch eine Spiritus- oder Gasflamme vertragen und dabei recht kräftige Ströme liefern, die alle Wirkungen einer galvanischen Batterie hervorbringen.

Da der Widerstand in einer Thermokette nur gering ist, so hat man zur Beobachtung von Thermoströmen nach §. 148, a, Anm. einen Multiplikator mit einem ebenfalls recht kleinen Widerstande anzuwenden, bei welchem also ein starker Kupferdraht nur wenige Windungen macht.

Nachstehend ist für einige Metalle die thermoelektrische Reihe angegeben und zwar so, daß der Strom an der wärmeren Lötstelle von dem vorangehenden zu dem folgenden fließt: Wismut, Platin, Kupfer, Blei, Zinn, Gold, Silber, Zink, Eisen, Antimon. — Übrigens wird das thermoelektrische Verhalten eines Metalles sehr von dessen Reinheit, Härte u. a. m. beeinflußt.

Für geringe Temperaturunterschiede (und nicht zu hohe Temperaturen) ist die elektromotorische Kraft, also bei gleichem Widerstande die Stärke des Stromes diesem Unterschiede proportional.

Für ein Wismut-Antimonelement beträgt die elektromotorische Kraft bei einer Temperaturdifferenz von 100° nur etwa 0,006 Volt.

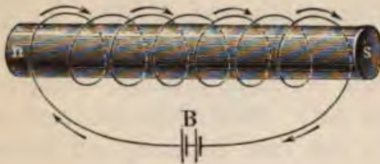
Schickt man durch ein Wismut-Antimonelement einen mäßig starken Strom, so wird dieser in dem Elemente, wenn dasselbe aus dicken Metallstäben besteht, nur einen verschwindend kleinen Widerstand finden, daher auch nicht durch Überwindung dieses Widerstandes eine merkliche Wärme entwickeln. Schaltet man nun das Element aus dem Stromkreise wieder aus und verbindet es mit einem Multiplikator, so zeigt dieser einen Strom an, dessen Richtung in dem Elemente derjenigen des ursprünglich hindurchgesandten entgegengesetzt ist. Ging z. B. der ursprüngliche Strom durch die Lötstelle vom Wismut zum Antimon, so hat der neue die umgekehrte Richtung vom Antimon zum Wismut. Ein Strom in der letzteren Richtung wird aber durch Abkühlung, in der umgekehrten Richtung durch Erwärmung der Lötstelle hervorgerufen. Hiernach erklärt sich die hier angegebene Erscheinung so, daß der durch das Element hindurchgeschickte Strom, je nachdem er vom Wismut zum Antimon oder umgekehrt hindurchfließt, die Lötstelle abkühlt oder erwärmt, was sich auch vermittelst eines empfindlichen Thermometers unmittelbar beobachten läßt. Überhaupt zeigt sich: Ein durch ein Thermoelement gehender Strom bewirkt an der Lötstelle der beiden Metalle einen Wärmeverbrauch (Abkühlung) oder eine Wärmeentwickelung, je nachdem er dem durch Erwärmen oder dem durch Abkühlen der Lötstelle hervorgerufenen Strome gleichgerichtet ist, und es entsteht auf diese Weise ähnlich wie bei der galvanischen Polarisation an der Lötstelle eine elektromotorische Gegenkraft, welche auf den ursprünglichen Strom schwächend einwirkt.

Die Thermoströme sind von Seebeck in Berlin (1821) entdeckt worden; die Thermosäule wurde zuerst von Nobili (1834) zu Temperaturbeobachtungen benutzt.

§. 156 (154). Elektromagnetismus. Nach §. 141 wirkt der elektrische Strom auf eine in seiner Nähe befindliche Magnetnadel in der Weise ein, daß er dieselbe senkrecht zu seiner Richtung zu stellen sucht. — Der elektrische Strom vermag ferner

auch unmagnetisches Eisen magnetisch zu machen, und zwar entspricht diese Wirkung vollkommen derjenigen auf eine Magnetnadel. Es wird nämlich ein Eisenstab magnetisch, wenn man senkrecht zu dessen Richtung einen Strom vorbeileitet oder zur Verstärkung der Wirkung gleich in mehreren Windungen um den Eisenstab herumführt, wie dies die schematische Fig. 183 darstellt, in welcher der Strom von der Batterie B aus in dem durch die Pfeile angedeuteten Sinne fließt.

(Fig. 183.)



Die Prüfung mittelst einer Magnetnadel zeigt, daß die Pole an den Enden des Eisenstabes der Ampèreschen Regel entsprechen, daß also für eine mit dem Strom schwimmende Figur der Nordpol auf der linken, der Südpol auf der rechten Seite entsteht. Es fließt demnach der Strom um den Eisenstab, vom Südpol aus gesehen, in demselben Sinne, wie sich der Zeiger einer Uhr dreht, vom Nordpol aus gesehen, im entgegengesetzten Sinne.

(Fig. 184.)



Weiches Eisen wird durch den Strom nur vorübergehend magnetisch erregt, indem es seinen Magnetismus wieder verliert, sobald der Strom aufhört. Ein Stück weiches Eisen, welches behufs Magnetisierung durch den Strom mit isolierten Drahtwindungen umgeben ist, nennt man einen **Elektromagnet**. Die Windungen desselben sind gewöhnlich behufs Isolierung mit Seide übersponnen. Fig. 184 stellt einen hufeisenförmigen Elektromagnet dar, dessen Polenden mit zwei untereinander verbundenen Drahtspiralen umgeben sind. Bei einem solchen müssen die Windungen um die Polenden in entgegengesetztem Sinne laufen, wie dies Fig. 185 deutlicher zu erkennen giebt.

(Fig. 185.)



Mit Hülfe kräftiger Ströme lassen sich Elektromagnete herstellen, welche alle anderen Magnete an Tragkraft weit übertreffen. Man hat Elektromagnete angefertigt, welche über 1000 kg zu tragen vermögen.

Nach dem Aufhören des Stromes verbleibt übrigens auch in dem weichen Eisen des Elektromagnets stets eine, wenn auch nur sehr geringe Menge von Magnetismus andauernd zurück (vgl. §. 106, Anm.). — **Stahl** wird wegen seiner Koercitivkraft (§. 106) durch den Strom in weit geringerem Maße magnetisch erregt als weiches Eisen; dagegen ist beim Stahl aus demselben Grunde der zurückbleibende Magnetismus sehr bedeutend, so daß man vermittelst des elektrischen Stromes die stärksten Stahlmagnete erhalten kann. — Gewöhnlich stellt man die kräftigen Stahlmagnete durch Streichen an den Polen eines starken Elektromagnets her.

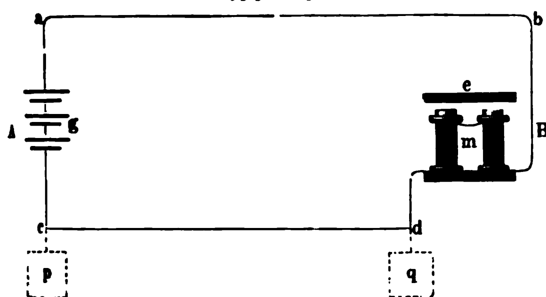
Bei Strömen von mäßiger Stärke und nicht zu dünnen Eisenstäben nimmt **der erregte Magnetismus in gleichem Verhältnis mit der Stärke des Stromes und der Zahl der Windungen zu.** Dieses Gesetz hat jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze Gültigkeit; über

hin hinaus wächst der erregte Magnetismus in abnehmendem Verhältnisse mit der Stromstärke und nähert sich dann mehr und mehr einem überhaupt nicht zu überschreitenden Maximum.

Über elektromagnetische Motoren siehe §. 163, über Diamagnetismus §. 116.

§. 157 (155). Elektrische Telegraphie. Der Elektromagnetismus findet eine sehr nützliche Anwendung in der Telegraphie. Die Einrichtung der gegenwärtig am meisten gebrauchten elektrischen Telegraphen ist im wesentlichen folgende: Es seien von einem Orte A nach einem anderen B zwei isolierte Drähte ab und cd (Fig. 186) fortgeführt; ferner seien die Drahtenden in B mit den Windungen eines Elektromagnets m verbunden. Wenn man dann die Drahtenden in A mit den Polen einer Batterie g in Verbindung setzt, so wird alsbald der Elektromagnet in B erregt, und es zieht derselbe nun einen Anker e an, welcher vorher von den Polen durch eine schwache Feder um einen kleinen Abstand entfernt gehalten wurde. Sowie man aber die Kette in A öffnet, und infolgedessen der Elektromagnet seinen Magnetismus wieder verliert, wird der Anker durch die Feder von den Polen des Elektromagnets wieder entfernt. Auf diese Art kann man durch wiederholtes Öffnen und Schließen der Kette in A Zeichen nach B hingeben.

(Fig. 186.)



Statt zweier Verbindungsdrähte kann man dabei auch mit einem der Drähte, etwa ab, auskommen, welcher den einen Pol der Batterie in A mit dem einen Drahtende des Elektromagnets in B verbindet; der zweite Draht cd läßt sich durch den feuchten Erdboden ersetzen, indem man in diesen sowohl in A als auch in B eine Metallplatte einsenkt und mit der ersteren (p) den andern Pol der Batterie in A und mit der letzteren (q) das andere Drahtende des Elektromagnets in B verbindet. Bei dieser Anordnung fließen nämlich die entgegengesetzten Elektricitäten, welche in der Batterie getrennt und nach den Polen getrieben werden, durch die mit den letzteren in Verbindung stehenden Platten p und q beständig in den feuchten Erdboden ab, woselbst sie sich ausbreiten und verschwinden, und es geht daher insbesondere durch die Leitung ab und die Windungen des Elektromagnets in B fortgesetzt ein elektrischer Strom in demselben Sinne, als ob der Draht cd wirklich vorhanden wäre.

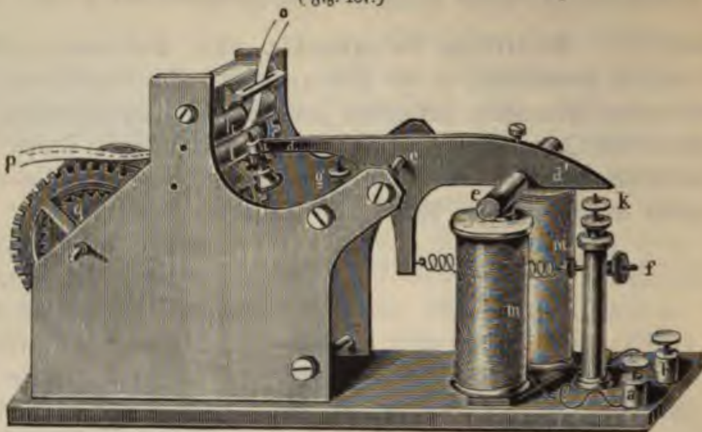
Als Stromerzeuger für elektrische Telegraphen benutzt man gewöhnlich die Meidingersche Kette und Abänderungen derselben (s. §. 143).

Die Leitungsdrähte werden durch die Luft oder unter dem Erdboden hingeführt. Im ersteren Falle sind sie an den Befestigungsstellen durch kleine Porzellankörper isoliert; im anderen Falle aber mit Guttapercha überzogen und noch zum Schutze mit einer Bekleidung aus geteertem Hanf umhüllt, welche ihrerseits mit starkem Eisendraht umgeben ist. Zu diesen unterirdischen Leitungen, den **Kabeln**, benutzt man Kupferdrähte; bei oberirdischen Leitungen giebt man dagegen Eisendrähten wegen ihrer größeren Billigkeit und Festigkeit den Vorzug. Natürlich muß aber ein Eisendraht, wenn er ebenso gut wie ein Kupferdraht leiten soll, eine größere Stärke haben (vgl. §. 147).

Unter den jetzt gebräuchlichen Telegraphenapparaten heben wir zunächst den sehr verbreiteten **Schreibtelegraphen** hervor. Fig. 187 zeigt die ältere Einrichtung (nach **Morse**): Ein

Papierstreifen op geht zwischen zwei dicht aneinander schließenden Walzen h und l hindurch, von denen die eine l durch ein Uhrwerk gleichmäßig umgedreht wird. (An der linken Seite der Figur

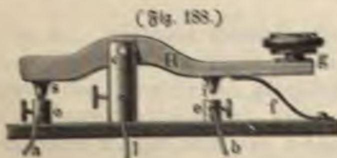
(Fig. 187.)



ist die Trommel q des Uhrwerks sichtbar.) Indem sich dann die Walze h durch die Reibung an der sich drehenden Walze l in der entgegengesetzten Richtung umdreht, wird zugleich der zwischen beide Walzen gepreßte Papierstreifen fortgeschoben. Da, wo der Papierstreifen der Walze h anliegt, ist rings um dieselbe eine rinnenförmige Vertiefung angebracht, in welche die Spitze des Stahlstifts i, wenn derselbe gegen die Walze h gepreßt wird, genau einpaßt. Dieser Stift ist an dem einen Ende des um die Achse c drehbaren Hebelarmes dd' befestigt, welcher an seinem andern Ende über dem Elektromagnete mm', der vermittelst der Klemmschrauben a und b in die Stromleitung eingeschaltet ist, den Anker e trägt. Solange kein Strom durch den Apparat hindurch geht, wird der Hebelarm dd' durch die Feder f so gestellt, daß der Anker e von dem Elektromagnete und der Stift i von dem Papierstreifen po um einen kleinen Abstand entfernt ist. Sowie aber der Elektromagnet mm' erregt und infolge hiervon der Anker e angezogen wird, drückt die Spitze des Stifts i gegen den gleichmäßig fortgeführten Papierstreifen und bringt in demselben punkt- und strichförmige Eindrücke hervor, je nachdem der Strom nur kürzere oder aber längere Zeit durch den Apparat hindurchfließt. — Der Anker e kommt hierbei mit dem Elektromagnete mm' nicht in Berührung, sondern nähert sich demselben nur bis zu einem kleinen Abstande, welcher durch die Schraube k reguliert wird. Es geschieht dies, weil der Magnetismus bei unmittelbarer Berührung nach dem Aufhören des Stromes weniger schnell verschwindet. — Durch verschiedene Kombinationen von Punkten und Strichen werden nun Buchstaben und andere Zeichen ausgedrückt, wie z. B.: a · —, b — · · ·, c — · — ·, d — · · u. s. w.

Soll mit dem Schreibtelegraphen von einem Orte nach einem anderen telegraphiert werden, so muß natürlich zunächst von dem ersteren Orte aus ein Zeichen gegeben werden, damit das die Walze umdrehende Uhrwerk in Gang gesetzt wird. Es bedarf jedoch hierzu eines besonderen Weckapparates nicht; ein rasch aufeinander folgendes Öffnen und Schließen der Kette in dem einen Stationsorte bewirkt in dem Apparate am andern Stationsorte eine Bewegung, welche mit einem hinreichenden Geräusche verbunden ist, um den Telegraphisten in dem letzteren Orte aufmerksam zu machen.

(Fig. 188.)

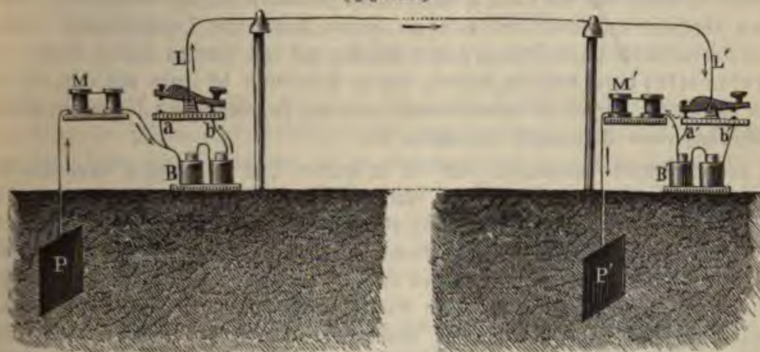


Zum Öffnen und Schließen der Kette dient die in Fig. 188 abgebildete Vorrichtung, der **Schlüssel**. Ein metallener Hebel H ist um die Achse c in einem ebenfalls metallenen Lager drehbar, welches mit der zur anderen Station führenden Hauptleitung l in Verbindung steht. In der Ruhelage wird durch eine Feder f der eine Arm des Hebels (in der Fig. der linke) niedergedrückt und so der Stift s mit dem metallenen Knopfe o in Berührung gebracht, welcher durch den Draht a mit dem Elektromagnet der r[illegible] n in leitender Verbindung steht. Beim

Niederdrücken des Griffes g wird die Berührung zwischen o und s aufgehoben, dagegen kommt am anderen Hebelarm der Stift i mit dem metallenen Knopfe e in Berührung, welcher durch den Draht b mit der Batterie der Station verbunden ist. Es fließt daher, wenn der Griff g niedergedrückt wird, der Batteriestrom durch den Schlüssel (über b, e, i, c) in die Hauptleitung l, und durch diese zur anderen Station, dort aber durch den daselbst in der Ruhelage befindlichen Schlüssel (über c, i, o, s) zu dem Elektromagnete des Schreibapparates.

Fig. 189 zeigt für zwei durch eine Leitung verbundene Stationsorte, wie bei einfachster Anordnung die Batterieen (B, B'), die Schreibapparate (Elektromagnete M, M'), die Schlüssel (ab, a'b') und die Erdplatten (P, P') auf beiden Stationen in diese Leitung eingeschaltet sind. Auf der links gelegenen Station ist der Schlüssel ab niedergedrückt, infolgedessen wird dort die Batterie B geschlossen, und es fließt

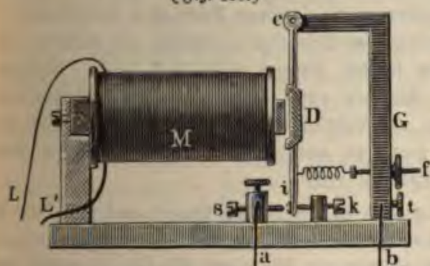
(Fig. 189.)



nun deren Strom in der Richtung bLL'a'M'P'PMB, wie auch durch Pfeile angedeutet ist. — Befindet sich auf beiden Stationen der Schlüssel in der Ruhelage, so kann kein Strom entstehen, weil dann die Leitung sowohl bei b als bei b' unterbrochen ist, also beide Batterieen B und B' geöffnet sind.

In langen Leitungen wird der Strom durch den großen Widerstand so geschwächt, daß der durch den Strom erregte Elektromagnet nicht imstande ist, den Schreibstift kräftig genug gegen die Walze zu drücken. Man läßt daher bei großen Entfernungen den Strom an der zweiten Station nicht unmittelbar auf den Elektromagnet des Schreibapparates einwirken, sondern schaltet an dieser Station zunächst einen Übertrager (Relais) ein, dessen Einrichtung aus Fig. 190 erkannt werden kann.

(Fig. 190.)



Der Strom der an der ersten Station befindlichen Batterie, der Linienbatterie, geht an der zweiten Station durch die Drähte L und L' und umkreist den Elektromagnet M. Vor diesem befindet sich der an dem metallenen Ständer G befestigte, um c leicht drehbare metallene Hebelarm ci, welcher dem Elektromagnet gegenüber den Anker D trägt und durch die schwache Feder f an die Schraube k gedrückt wird. Die Klemmschrauben s und t sind mit den Polen einer an der zweiten Station befindlichen Batterie, der Lokalbatterie, verbunden; in deren Schließungsbogen ist der Schreibapparat eingeschaltet. Wird nun die Linienbatterie geschlossen, so zieht der Elektromagnet M den Anker D an und bringt dadurch den Hebel ci mit der Schraube s in Berührung. Hierdurch aber wird gleichzeitig, da nunmehr der Strom der Lokalbatterie über asicGb fließen kann, auch die Lokalbatterie geschlossen. Wird die Linienbatterie geöffnet, so zieht die Feder f den Hebel ci wieder zurück, hebt dadurch die Berührung des letzteren mit der Schraube s auf und öffnet also auch die Lokalbatterie. Durch passende Einstellung der Schraube s kann diese sehr nahe an den Hebel ci gerückt werden, so daß schon ein schwacher Strom in der Hauptleitung genügt, die

Lokalbatterie zu schließen, welche ihrerseits bei viel geringerem Widerstande auch einen weit kräftigeren Strom zu liefern vermag.

Bei den neueren, jetzt gewöhnlich gebrauchten Schreibtelegraphen ist die wesentliche Verbesserung angebracht, daß sie nicht die Zeichen in den Papierstreifen eindrücken, sondern auf demselben farbige Zeichen herstellen. Zu dem Zweck wird der Papierstreifen, welcher zwischen den beiden Walzen h und l (Fig. 191) hindurchgeht, mittelst einer Walze k an einem metallenen Rädchen m dicht vorbeigeführt und beim Schließen des Stromes durch den gegenüberstehenden Schreibstift i an dieses Rädchen angedrückt. Letzteres berührt nun eine durch das Uhrwerk des Apparates gedrehte Walze w, welche von einer mit Druckerschwärze getränkten Filzlage überzogen ist, infolgedessen das Rädchen ebenfalls umgedreht und dabei an seinem Rande mit Druckerschwärze bekleidet wird, welche beim Andrücken des Papierstreifens an das Rädchen auf dem Streifen farbige Zeichen hervorruft. Diese Farbschreiber bieten noch den Vorteil, daß der Schreibstift bei ihnen mit einer viel geringeren Kraft gegen das Papier gedrückt zu werden braucht, und daß sie infolgedessen für größere Entfernungen ohne Einschaltung eines Übertragers verwendbar sind.

(Fig. 191.)



Die vollkommensten Telegraphen sind die in neuerer Zeit auf großen Centralstationen eingeführten Drucktelegraphen, welche auf dem Papierstreifen gleich die gewöhnlichen Buchstaben abdrucken. Bei diesen Telegraphen, deren Einrichtung sehr zusammengesetzter Natur ist, tritt an die Stelle des Schlüssels zur Aufgabe des Telegramms ein Apparat, welcher wie ein Klavier verschiedene mit den einzelnen Buchstaben bezeichnete Tasten enthält; für den Empfang des Telegramms an der anderen Station aber dient ein Apparat, dessen wichtigster Bestandteil ein Rad (Typenrad) ist, an dessen Umfang die Buchstaben in erhabener Form ausgeschnitten sind. Beim Niederdrücken einer Taste auf der ersten Station wird nun jedesmal an der zweiten der Papierstreifen gegen den der Taste entsprechenden Buchstaben des durch ein Uhrwerk in schnelle Drehung versetzten Typenrades gedrückt, welches sich in ähnlicher Weise wie das Rädchen des Farbschreibers mit Druckerschwärze bekleidet.

Bei den überseeischen Kabeln lassen sich nur schwache Ströme anwenden, indem stärkere Ströme durch Influenz in dem das Kabel umhüllenden Wasser Elektricität erregen, welche von störendem Einflusse ist. Für diese schwachen Ströme lassen sich die bislang beschriebenen Telegraphenapparate nicht verwenden. Man benutzt vielmehr für diese Zwecke besonders konstruierte Nadeltelegraphen, welche im wesentlichen aus einem Multiplikator (§. 144) bestehen. Indem man die Einrichtung trifft, daß der Strom durch den Multiplikator in wechselnder Richtung hindurchgeführt und so eine Ablenkung der Nadel nach der einen und nach der anderen Seite hervorgerufen werden kann, vermag man durch die verschiedenen Kombinationen dieser Ablenkungen die einzelnen Buchstaben darzustellen. — Als Multiplikator dient insbesondere ein äußerst empfindliches Spiegelgalvanometer, bei welchem eine an einem Coconfaden aufgehängte Magnetnadel einen kleinen Spiegel trägt (s. §. 144). Während der Apparat selbst in einem dunkeln Raume steht, fällt von einer außerhalb desselben befindlichen Lampe durch einen schmalen Spalt auf den Spiegel ein Lichtstrahl, welcher von dem Spiegel auf einen Schirm zurückgeworfen wird, und es bewirkt nun eine geringe Schwankung der Nadel schon eine sehr deutliche Verrückung der auf dem Schirm erzeugten Lichtlinie.

Der erste elektrische Telegraph (ein Nadeltelegraph) ist 1833 von Gauß und Weber in Göttingen hergestellt worden. Der Schreibtelegraph ist von Morse in Amerika 1837, der Typendrucktelegraph von Hughes in Amerika 1857 erfunden worden. — 1837 hat Steinheil zuerst den zweiten Leitungsdraht durch den feuchten Erdboden ersetzt. — 1866 wurde das erste überseeische Kabel zwischen England und Amerika fertiggestellt.

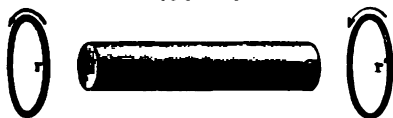
Auf der Erregung eines Elektromagnets beruhen auch die elektrischen Klingeln der Haustelegraphen. Fig. 192 zeigt eine solche Klingel in schematischer Darstellung. Der Anker a eines Elektromagnets m wird von der metallenen Feder e gehalten und trägt den Klöppel k, welcher an die Glocke G schlägt, sobald der Elektromagnet den Anker a ... wird daher, wenn der Elektromagnet in den Stromkreis einer Batterie B eingeschaltet ist, ... en Schließen des Stromes ein

wie eine Deklinationsnadel. Dabei fließt der Strom in Übereinstimmung mit dem oben Angeführten durch die Windungen in demselben Sinne, wie dies bei einem freibeweglich aufgehängten Elektromagnete (§. 156) der Fall sein würde, d. h. von Süden aus gesehen, im Sinne der Bewegung eines Uhrzeigers, von Norden aus im entgegengesetzten Sinne.

Bezeichnet man das nach Norden gerichtete Ende des Schraubendrahtes als Nordpol, das andere als Südpol, so ergiebt die Beobachtung ferner, daß für die gegenseitige Wirkung eines Schraubendrahtes und eines Magnets dasselbe Gesetz gilt wie bei zwei Magneten, daß nämlich gleichnamige Pole sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen.

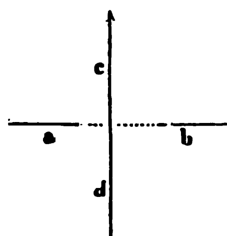
Zum genaueren Verständnis des Obigen fügen wir noch folgendes hinzu: Führt man einen Strom wie bei einer Tangentenbussole (§. 145) im Kreise um eine Magnetnadel, so sucht der Strom die Nadel gemäß der Ampèreschen Regel senkrecht zu seiner Ebene zu stellen; umgekehrt wird sich ein beweglicher Kreisstrom unter dem Einflusse eines festen Magnets so drehen, daß die Ebene des Stromes zur Achse des Magnets eine senkrechte Lage einnimmt. Es sei nun NS (Fig. 195) ein fester Magnetstab, und es befinde sich dem Nordpole N gegenüber ein beweglicher Drahtring r, durch welchen ein Strom im Sinne des beigesetzten Pfeiles hindurchfließen möge. Der Drahtring wird dann von dem Pol angezogen, weil dieser für eine mit dem Strom schwimmende Figur rechter Hand gelegen ist; dagegen wird Abstoßung erfolgen, falls der Strom im entgegengesetzten Sinne durch den Draht hindurchfließt. Befindet sich der Drahtring dem Südpol S gegenüber, etwa in der Lage r', so wird er von diesem Pole angezogen, wenn der Strom in dem durch den Pfeil angedeuteten Sinne durch den Ring hindurchfließt, da der Südpol dann für eine schwimmende Figur linker Hand liegt; bei entgegengesetzter Stromrichtung wird dagegen Abstoßung stattfinden. Die Bewegung des Kreisstromes ist also in jedem Falle eine derartige, als ob derselbe ein scheibenförmiger Elektromagnet wäre.

(Fig. 195.)



§. 159 (158). **Gegenseitige Wirkung zweier Ströme.** Da zufolge des vor. §. ein Magnetpol und ein elektrischer Strom sich gegenseitig anziehen und abstoßen und das Gleiche auch von zwei Magnetpolen gilt, so liegt der Gedanke nahe, daß auch zwei Ströme eine gegenseitige Einwirkung auf einander ausüben werden. — Führt man durch das bewegliche Rechteck klmn (Fig. 193) einen Strom und neben einer senkrechten Seite des Rechtecks einen zweiten Strom einmal in gleicher, das andere Mal in entgegengesetzter Richtung vorbei, so beobachtet man:

(Fig. 196.)



1) Parallele Ströme, welche dieselbe Richtung haben, ziehen sich an; parallele Ströme, welche entgegengesetzte Richtung haben, stoßen sich ab.

Leitet man sodann den zweiten Strom unterhalb der wagerechten Seite des Rechtecks in einer die Seite kreuzenden Richtung fort, so findet man:

2) Wenn zwei Ströme ab und cd (Fig. 196) sich kreuzen, so findet Anziehung statt zwischen den Teilen b und d, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und zwischen den Teilen a und c, welche vom Kreuzungspunkte weggehen; Abstoßung aber findet statt zwischen einem Teile,

welcher nach dem Kreuzungspunkte hingeht, und einem solchen, welcher vom Kreuzungspunkte weggeht, also zwischen a und d und zwischen b und c.

3) Zwei sich kreuzende Ströme streben daher immer sich so zu stellen, daß sie einander parallel laufen und in derselben Richtung fortgehen, wie leicht daraus folgt, daß a und c und b und d einander anziehen, aber a und d und b und c sich abstoßen.

Die gegenseitige Anziehung und Abstoßung paralleler Ströme zeigt sich besonders deutlich bei Anwendung von Schraubendrähten (Fig. 194). Nähert man zwei von Strömen durchflossene Schraubendrähte einander mit ihren Enden, so sind die Ströme bei ungleichnamigen Polen parallel und gleichgerichtet, bei gleichnamigen aber entgegengesetzt gerichtet. Dementsprechend beobachtet man in Übereinstimmung mit Gesetz 1, daß gleichnamige Pole sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen, also das nämliche Gesetz, welches wir schon für zwei Magnete und desgleichen auch für einen Magnet und einen Schraubendraht kennen gelernt haben. Hiernach läßt sich nicht nur ein von einem Strome durchflossener Schraubendraht (s. d. vorig. §.) durch einen Magnet, sondern auch umgekehrt ein Magnet durch einen solchen Schraubendraht ersetzen. Ein Magnet kann hinsichtlich seiner Wirkung aufgefaßt werden als ein Körper (Fig. 197), welcher senkrecht zu seiner Achse von parallelen und gleichgerichteten Strömen in demselben Sinne wie ein Elektromagnet (§. 156) umkreist wird.

(Fig. 197.)

n

Auf Grund des Obigen hat Ampère folgende Theorie des Magnetismus aufgestellt: Die Moleküle eines Magnets sind senkrecht zur Achse desselben beständig von parallelen und gleich gerichteten Strömen umkreist; die um die einzelnen Moleküle eines jeden Querschnitts fließenden Ströme wirken dann nach außen so wie ein einziger um den ganzen Querschnitt kreisender Strom, welcher die Resultierende der sämtlichen Molekularströme des Querschnitts darstellt. Im unmagnetischen Eisen werden die Moleküle ebenfalls von Strömen umflossen, die aber die verschiedenste Richtung haben. Das Magnetisieren besteht demnach in einem Parallel- und Gleichrichten dieser Ströme.

Nach der hier angezeigten Theorie lassen sich die Erscheinungen des Magnetismus sämtlich auf die gegenseitige Einwirkung von elektrischen Strömen zurückführen. So erklärt sich z. B. die gegenseitige Anziehung ungleichnamiger und die Abstoßung gleichnamiger Pole dadurch, daß für den ersteren Fall die elektrischen Ströme, welche um die Magnetpole fließen, dieselbe, im letzteren Falle aber die entgegengesetzte Richtung haben. Die Wirkung des elektrischen Stromes auf eine Magnetnadel ergiebt sich als Folge des Gesetzes, daß zwei auf einander einwirkende Ströme sich parallel zu stellen streben. — Zur Erklärung der magnetischen Wirkung der Erde hat man sich vorzustellen, daß die Erde, da sie im Norden einen magnetischen Südpol besitzt, von elektrischen Strömen in der Richtung von Osten nach Westen umflossen wird, u. a. m.

Über die Größe der gegenseitigen Wirkung zweier Ströme führen wir schließlich noch das [illegible] Gesetz an:

Die Kraft, mit welcher zwei Ströme sich anziehen oder abstoßen, ist der Länge [illegible] wirkenden Teile, dem Produkte der Intensitäten beider Ströme direkt [illegible] Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional.

[illegible] 161). Elektrische Induktion. Es seien zwei hölzerne Spulen [illegible] sich die eine A in die andere B hineinschieben läßt, mit über- [illegible] umwickelt und zwar die weitere mit zahlreichen Windungen [illegible] enige Windungen eines dickeren

Drahtes. Die letztere (A) möge die primäre oder Hauptrolle heißen, die erstere (B) die sekundäre oder Nebenrolle. Verbindet man nun die Nebenrolle mit einem empfindlichen Multiplikator, senkt die Hauptrolle in die Nebenrolle hinein und setzt dann die erstere mit den Polen einer galvanischen Batterie in Verbindung, so erfährt die Nadel des Multiplikators in dem Augenblick, wo die Kette geschlossen wird, eine Ablenkung, welche aber nur vorübergehend ist, indem die Nadel alsbald wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrt. Wird die Kette wieder geöffnet, so schlägt die Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus. — Hiernach entsteht beim Schließen und Öffnen der Kette in der Nebenrolle vorübergehend ein elektrischer Strom. Diese Wirkung strömender Elektricität nennt man elektrische Induktion. Der wirksame primäre Strom heißt der induzierende oder Hauptstrom, der entstehende sekundäre der induzierte, auch Induktions- oder Nebenstrom.

(Fig. 198.)



Ein Induktionsstrom tritt ferner auch auf, wenn man zunächst durch die außerhalb der Nebenrolle befindliche Hauptrolle einen Strom leitet und die Hauptrolle nun schnell in die Nebenrolle hineinsteckt; desgleichen auch, wenn man hernach die in der Nebenrolle steckende Hauptrolle rasch wieder herauszieht. — Aus der Ablenkung der Magnetnadel ergiebt sich für die einzelnen Fälle das Gesetz: Beim Schließen und Annähern des Hauptstromes entsteht ein entgegengesetzt gerichteter, beim Öffnen und Entfernen ein gleichgerichteter Nebenstrom.

Allgemein wird diesem Gesetze entsprechend in einem geschlossenen Leiter stets ein Strom induziert, falls in der Nähe des Leiters ein Strom entsteht oder verschwindet oder nur überhaupt ein vorbeifließender Strom stärker oder schwächer wird, oder wenn der gegenseitige Abstand zwischen einem Leiter und einem benachbarten Strome sich ändert. Dabei sind die Induktionsströme, welche beim Schließen und Öffnen des Hauptstromes entstehen, von unmeßbar kurzer Dauer, diejenigen aber, welche durch Schwankungen in der Stromstärke oder durch Bewegung des Stromleiters hervorgerufen werden, von der Dauer dieser Änderung.

Da ferner nach dem vorig. §. parallele und gleichgerichtete Ströme sich anziehen, entgegengesetzt gerichtete sich abstoßen, nach dem Vorstehenden aber in einem Leiter beim Annähern eines Stromes ein gleichgerichteter, bei Entfernung ein entgegengesetzter Strom entsteht, so gilt auch noch das folgende (von Lenz aufgestellte) Gesetz: Ein durch Bewegung hervorgerufener Induktionsstrom sucht die Bewegung selbst zu hindern.

Aus diesem Gesetze geht hervor, daß bei Erzeugung eines Induktionsstromes durch Bewegung stets ein Widerstand zu überwinden, also mechanische Arbeit zu leisten ist; die elektrische Energie (§. 134) eines solchen Induktionsstromes entsteht durch Umwandlung von mechanischer Energie. — Andererseits entwickelt sich die Energie der Induktionsströme, wie sie beim Schließen und Öffnen eines Stromkreises auftreten, auf Kosten der elektrischen Energie des induzierenden Stromes.

Die elektromotorische Kraft eines Induktionsstromes wächst mit der Stärke des induzierenden und mit der Länge des Weges, welche beiden parallel nebeneinander herlaufen; sie nimmt dagegen mit der Entfernung ab. Sie ist ferner um so größer, je schneller die Erregung erfolgt, also besonders stark bei den Strömen, welche durch Schließen und Öffnen des induzierenden Stromes entstehen.

Die Induktionsströme bringen im wesentlichen die nämlichen Erscheinungen hervor wie andere elektrische Ströme. Sie unterscheiden sich und zwar namentlich diejenigen, welche durch Schließen und Öffnen des induzierenden Stromes erzeugt werden, von den galvanischen Strömen durch ihre kurze Dauer und hiermit zusammenhängend dadurch, daß sie bei geringerer Elektricitätsmenge eine bedeutend höhere Spannung zeigen. Sie vermögen daher bei weitem leichter Leitungswiderstände zu überwinden, lassen sich dementsprechend ohne beträchtliche Schwächung durch feine und lange Drähte oder durch unvollkommene Leiter fortführen, liefern infolgedessen besonders lebhafte physiologische Wirkungen und kräftige Funken, wogegen ihre magnetischen und chemischen Wirkungen nur gering sind. Indem sie sich so den Entladungsströmen der Reibungselektricität nähern, nehmen sie zwischen diesen und den galvanischen Strömen eine mittlere Stellung ein.

Aus dem Vorstehenden ersieht man auch, warum es zur Erzeugung kräftiger Induktionsströme zweckmäßig ist, die Nebenrolle aus zahlreichen Windungen eines dünnen Drahtes herzustellen; dagegen hat man für die Hauptrolle nur wenig Windungen eines dicken Drahtes anzuwenden, damit der wirksame galvanische Strom möglichst stark ausfällt. — Die Wirkung wird noch erhöht, wenn sich in der Hauptrolle ein Cylinder aus weichem Eisen oder noch besser ein Bündel überfirnißter Stäbe aus weichem Eisen befindet (s. d. folg. §.).

Führt man den elektrischen Strom durch eine Drahtrolle, so wirken die einzelnen vom Strom durchflossenen Windungen auch auf die benachbarten Windungen des eigenen Stromkreises induzierend ein, und es entsteht daher sowohl beim Schließen als auch beim Öffnen des Stromkreises in der Drahtrolle selbst ein Induktionsstrom, welcher Extrastrom genannt wird. Derselbe fließt beim Schließen der Kette dem Hauptstrome gerade entgegen, beim Öffnen aber in derselben Richtung. Beim Schließen der Kette wird demnach der Extrastrom auf den entstehenden Hauptstrom schwächend einwirken, beim Öffnen dagegen denselben gerade vor seinem Verschwinden noch verstärken. Diese Wirkungen des Extrastromes zeigen sich z. B. in folgenden Erscheinungen: Wenn man eine einfache Kette durch einen kurzen Draht schließt, so bemerkt man beim Öffnen nur einen schwachen Funken; eine Erschütterung nimmt man nicht wahr, auch wenn man die Drähte in größere Metallstücke endigen läßt und diese in den angefeuchteten Händen hält. Schaltet man aber eine Drahtrolle ein, so zeigt sich beim Öffnen ein lebhafter Funke, und wenn man die Drähte in den angefeuchteten Händen hält, so empfindet man eine heftige Erschütterung. Beim Schließen findet dagegen keine erhebliche Wirkung statt, weil hierbei der Extrastrom und der Hauptstrom sich gegenseitig schwächen.

Auf einer Wirkung des Extrastromes beruht ferner auch die Erscheinung, daß der in der Nebenrolle induzierte Schließungsstrom von geringerer Stärke ist als der Öffnungsstrom. Die Stärke dieser Ströme ist nämlich nach dem Obigen um so größer, je schneller der Hauptstrom entsteht oder verschwindet. Beim Schließen der Kette wirkt nun der Extrastrom dem induzierenden Strome gerade entgegen und verlangsamt so die Entstehung desselben; beim Öffnen fließt andererseits der Extrastrom zwar in derselben Richtung wie der induzierende Strom, vermag aber wegen der Unterbrechung das Verschwinden des Stromes nur in weit geringerem Maße zu verzögern.

Auch für die Induktionsströme gilt das Ohm[illegible] 48, a). Dabei entsprechen die [illegible] Windungen der Nebenrolle hinsichtlich d[illegible] kraft und des Widerstandes [illegible] den einzelnen Elementen einer galvan[illegible]

Die Induktionsströme sind von dem [illegible] [illegible].

§. 160, b (162, a). **Magnetische Induktion.** Nach §. 159 können wir uns jeden Magnet als einen Körper vorstellen, welcher senkrecht zu seiner Achse von gleich gerichteten elektrischen Strömen umkreist wird. Hiernach werden in einem Leiter der Elektricität sowohl bei Annäherung als bei Entfernung eines Magnets elektrische Ströme induziert werden, welche im ersteren Falle den Strömen des Magnets entgegengesetzt fließen, im zweiten Falle mit ihnen gleiche Richtung haben. Dasselbe wird ferner stattfinden, wenn in einem Stück Eisen, welches sich in der Nähe des Leiters befindet, Magnetismus entsteht oder wieder verschwindet, oder wenn der Magnetismus überhaupt nur stärker oder schwächer wird.

(Fig. 199.)



Zum Nachweise der vorstehenden Behauptungen hat man nur nötig, eine Drahtrolle R (Fig. 199) mit einem Multiplikator zu verbinden. Nähert man dann der Rolle den einen Pol eines Magnetes NS oder taucht man denselben in die Drahtrolle hinein, so erleidet die Nadel des Multiplikators dem Obigen entsprechend eine Ablenkung; sie wird nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt, sowie man den Magnetpol entfernt oder aus der Drahtrolle herauszieht.

Um den zweiten Teil der obigen Behauptung darzuthun, steckt man in die Drahtrolle einen Cylinder aus weichem Eisen oder noch besser ein Bündel aus Eisendrähten (s. d. folg. §.). Nähert man nun der Drahtrolle wiederum den einen Pol eines Magnets, so wird jetzt die Nadel des Multiplikators in gleichem Sinne wie bei dem ersten Versuche, jedoch bei weitem kräftiger abgelenkt. Es wirkt nämlich jetzt nicht nur unmittelbar der angenäherte Magnetpol, sondern auch der durch diesen Pol in dem weichen Eisen hervorgerufene Magnetismus und zwar in demselben Sinne induzierend auf die Drahtrolle ein. Desgleichen erfährt die Nadel bei Entfernung des Poles eine verstärkte Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite, da hierbei das Verschwinden des Magnetismus in dem weichen Eisen einen Induktionsstrom von der nämlichen Richtung erzeugt, wie die Entfernung des Magnetpoles.

Diese durch magnetische Induktion hervorgerufenen Ströme bieten im allgemeinen die nämlichen Gesetze und Erscheinungen dar wie die durch elektrische Induktion entstandenen (s. d. vor. §.); doch liefern sie größere Elektricitätsmengen von geringerer Spannung, nähern sich also mehr den galvanischen Strömen.

Auf magnetischer Induktion beruht auch die folgende Erscheinung: Wenn man dicht über einer Kupferscheibe, welche sich um eine senkrechte Achse drehen läßt, eine Magnetnadel aufhängt und dann die Scheibe in rasche Drehung versetzt, so wird die Nadel im Sinne dieser Bewegung abgelenkt. Nach dem Obigen entstehen nämlich hierbei in der Kupferscheibe Induktionsströme, welche die Bewegung der Scheibe zu hindern suchen (§. 160, a) und so auf letztere im Sinne der Drehung bewegend einwirken. Umgekehrt kommt eine über einer Kupferscheibe schwingende Magnetnadel schneller zur Ruhe, als ohne die Scheibe der Fall sein würde, indem hier die in der Scheibe entstehenden Induktionsströme hemmend auf die Bewegung der Nadel einwirken. Man benutzt dies häufig zur Dämpfung der Schwingungen einer Magnetnadel.

§. 161. Induktionsapparate. Wenn man bei den Versuchen des §. 160, a über elektrische Induktion in die Hauptrolle einen Cylinder aus weichem Eisen oder noch besser ein Bündel von Eisendrähten steckt, so erhält man weit kräftigere Ströme, als ohne dies der Fall sein würde. Indem nämlich in dem Eisen beim Schließen des Hauptstromes Magnetismus erregt wird, beim Öffnen der Kette wieder verschwindet, werden zufolge des vorig. §. in der Nebenrolle Ströme induziert, welche mit den durch das Schließen und Öffnen des Hauptstromes erregten gleiche Richtung haben und daher diese verstärken.

Hierauf gründet sich die Einrichtung der besonderen Induktionsapparate, in denen durch schnell auf einander folgendes Schließen und Öffnen des von einer galvanischen Kette gelieferten Hauptstromes kräftige Induktionsströme von hoher Spannung hervorgerufen werden. Dabei wird das Öffnen und Schließen der Kette selbstthätig von seiten des Hauptstromes durch Erregung eines Elektromagnets bewirkt.

Die wesentlichen Bestandteile eines Induktionsapparates sind nach dem Obigen die Induktionsrolle und der Stromunterbrecher. Die Induktionsrolle enthält eine innere Rolle (die Hauptrolle zur Aufnahme des galvanischen Stromes), welche aus verhältnismäßig wenig Windungen eines dicken Drahtes besteht, und eine diese umgebende äußere Rolle (die Nebenrolle), welche aus zahlreichen (bei größeren Apparaten mehrere 1000) Windungen eines sehr dünnen Drahtes gebildet wird. Innerhalb der inneren Rolle befindet sich ein Bündel von Eisendrähten, welche behufs gegenseitiger Isolierung überfirnißt sind. Solche Drahtbündel haben vor massiven Eisenkernen den Vorzug, weil in ersteren der Magnetismus schneller entsteht und wieder verschwindet; in dem Eisenkern werden nämlich beim Schließen und Öffnen der Kette ebenfalls Induktionsströme erzeugt, welche auf das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus verzögernd einwirken. — Als Stromunterbrecher dient gewöhnlich ein magnetischer Hammer, welcher ähnlich wie bei den elektrischen Klingeln (§. 157) eingerichtet ist.

Die kleineren Induktionsapparate dienen zur Erzeugung physiologischer Wirkungen für Heilzwecke, die größeren dagegen zur Erzeugung kräftiger Funken. Letztere Apparate nennt man Funkeninduktoren (auch Rhumkorffsche Apparate). Ein Funkeninduktor ist gewöhnlich auch noch mit einem Stromwender (Kommutator, s. §. 141) versehen, welcher dazu dient, den galvanischen Strom bald in der einen, bald in der entgegengesetzten Richtung durch den Apparat führen zu können. Derselbe ist bei den einzelnen Apparaten von sehr verschiedener Einrichtung.

(Fig. 200.)

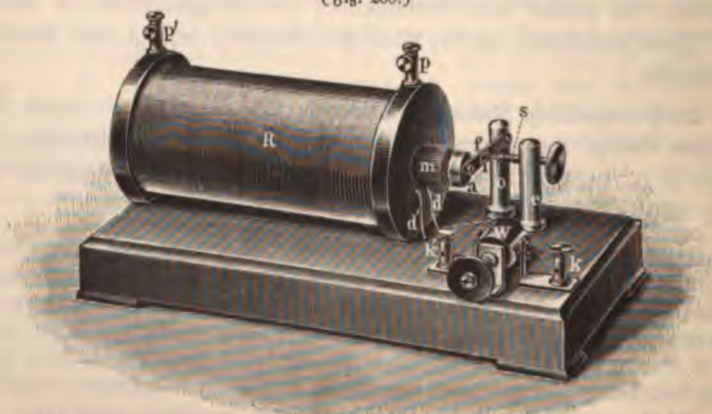


Fig. 200 stellt einen Funkeninduktor dar (Induktionsrolle R, magnetischer Hammer s, Stromwender W). Die Drahtenden der (äußeren) Nebenrolle stehen mit den Klemmschrauben p und p'

den Polen des Apparates, in Verbindung, die (an der rechten Seite der Induktionsrolle hervortretenden) Drahtenden d und d' der (inneren) Hauptrolle dagegen mit den Klemmen k und k', durch welche der galvanische Strom in den Apparat eingeführt wird. — Der zur Stromunterbrechung dienende magnetische Hammer hat hier die folgende Einrichtung: Eine metallene Feder f, welche mit dem einen Ende an einer metallenen Säule o befestigt ist, trägt an dem anderen Ende einen Anker a aus weichem Eisen (den Hammer), welcher sich dem einen Ende m des aus der Induktionsrolle hervorragenden Bündels aus Eisendrähten (dem einen Pole eines Elektromagnets) gerade gegenüber befindet. Auf der anderen Seite der Metallfeder f ist ferner an der metallenen Säule e eine verstellbare Schraube s angebracht, welche in einen kleinen Platinstift i endet; diese Schraube ist so gestellt, daß der Platinstift die Feder gerade berührt, wenn letztere sich in ihrer Ruhelage befindet. An der Berührungsstelle ist die Feder mit einer kleinen Platinplatte bedeckt. Die Säule e steht mit der Klemme k in leitender Verbindung, die Säule o dagegen mit dem einen Ende d der Hauptrolle. Es fließt demnach, wenn man etwa den positiven Pol einer galvanischen Kette mit der Klemme k, den negativen mit k' verbindet, der Strom über k, e, s, i, f, o, d in die Hauptrolle und von dieser über d'k' zur Kette zurück. Indem aber hierbei der Strom das Drahtbündel magnetisch macht und der so entstandene Magnetpol m den Hammer a anzieht, wird die Berührung zwischen der Feder f und dem Platinstift i aufgehoben, mithin die Stromleitung unterbrochen. Infolgedessen verschwindet der Magnetismus in dem Drahtbündel wieder und die Feder f geht in ihre frühere Lage zurück. Indem aber so die Stromleitung aufs neue hergestellt ist, wird der Hammer auch wieder angezogen und das nämliche Spiel wiederholt sich, wodurch in raschester Folge die Kette abwechselnd geschlossen und geöffnet wird. Man sieht hierbei zwischen Feder und Platinstift sowohl beim Schließen als beim Öffnen der Kette unausgesetzt kleine Funken überspringen. — Der Stromwender W hat die schon in §. 141 beschriebene und daselbst durch Fig. 164 in größerem Maßstabe dargestellte Einrichtung.

Nach §. 161, a, Anm. entstehen beim Öffnen des Hauptstromes kräftigere Induktionsströme als beim Schließen, indem die letzteren Induktionsströme durch den jedesmal auftretenden Extrastrom bedeutender geschwächt werden als die ersteren. Die Stärke der Öffnungsströme wird nun bei den größeren Induktionsapparaten dadurch noch wesentlich gesteigert, daß man den beim Öffnen entstehenden Extrastrom durch einen im Apparat angebrachten Kondensator (§. 129) auffängt. Derselbe besteht aus zwei Stanniolblättern, welche durch eine etwas größere Scheibe von Wachstaffet getrennt sind, und ist in dem hölzernen Boden des Apparates untergebracht. Die eine Belegung ist mit der Säule o, welche die Feder f trägt, die andere mit der Säule e, an welcher die mit dem Platinstift versehene Schraube s angebracht ist, in Verbindung gesetzt. Beim Öffnen der Kette fließen dann die entgegengesetzten Elektricitäten des Extrastromes in die Belegungen des Kondensators, um sich beim Schließen wieder zu vereinigen.

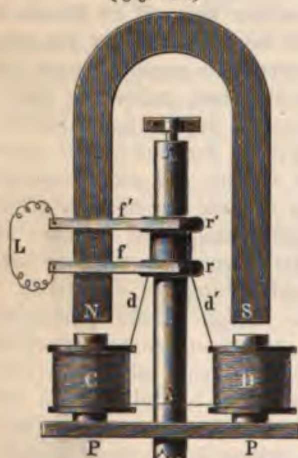
Verbindet man bei einem Funkeninduktor die Pole p und p' durch zwei einander bis auf einen kleinen Abstand genäherten Drähte, so sieht man zwischen denselben, wenn der Apparat in Thätigkeit ist, lebhafte Funken überspringen, welche bei den größeren Apparaten denen kräftiger Elektrisiermaschinen gleichkommen und daher starke mechanische Wirkungen äußern. — Die physiologischen Wirkungen der großen Apparate sind lebensgefährlich. — Minder erheblich sind die chemischen und magnetischen Wirkungen. — Vorzüglich eignen sich die Induktionsapparate insbesondere zur Erzeugung der elektrischen Lichterscheinungen in verdünnten Gasen (s. §. 133, d). Für diesen Zweck benutzt man gewöhnlich die nach ihrem Erfinder genannten Geißlerschen Röhren, d. h. mit den verdünnten Gasen gefüllte Glasröhren, in welche an den Enden zwei Platindrähte eingeschmolzen sind. Werden die äußeren Enden dieser Drähte mit den Polen des Apparates verbunden, so erscheint die negative Elektrode von einem bläulichen Lichte eingehüllt, die positive aber von rotem Lichte umgeben, welches letztere in Schichten, die durch dunkle Streifen getrennt sind, sich nach der negativen Elektrode hin ausbreitet. Die Erscheinung unterliegt mannigfachem Wechsel je nach der Art des Gases, dem Grade der Verdünnung, der Entfernung der Elektroden von einander u. dgl. m.

§. 162. Magnet- und dynamoelektrische Maschinen. Zufolge §. 160, b entsteht in einer Drahtrolle, wenn man dieselbe einem Magnetpole nähert oder von ihm entfernt, jedesmal ein Induktionsstrom, welcher sich noch dadurch bedeutend

verstärken läßt, daß man im Innern der Rolle einen Kern aus weichem
anbringt. Wird nun die angegebene Bewegung öfters und rasch hinter ein
ausgeführt, so muß die Drahtrolle von zahlreichen, schnell auf einander folg
Strömen durchflossen werden. Auf diese Weise kann vermittelst eines Magnets
Bewegung, durch Aufwand von Arbeit, elektrische Ströme erzeugen. Vorrichtu
welche hierzu dienen, nennt man magnet- oder dynamoelektrische Maschin

Das Princip einer einfachen magnetelektrischen Maschine kann genauer
Fig. 201 erkannt werden. Vor den Polen eines Stahlmagnets N und S sind auf
Eisenplatte PP zwei von Drahtrollen umgebene Cylinder aus weichem Eisen C u

(Fig. 201.)



befestigt; dabei laufen die Windungen der beiden D
rollen, welche zu einer einheitlichen Leitung verb
sind, wie bei einem Elektromagnet (s. Fig. 185, S.
in entgegengesetztem Sinne um die Eisenkerne h
die Eisenplatte PP ist ferner mit der Achse A
verbunden. Durch Umdrehung dieser Achse könn
die beiden Eisencylinder mit den Drahtrollen in r
Aufeinanderfolge vor den Polen des festen Ma
vorbeigeführt werden, und es müssen dann nac
Obigen in den Drahtrollen fortgesetzt Induktions
entstehen, welche sich um so schneller folgen, je r
die Umdrehung geschieht.

Um diese Ströme durch eine äußere Leitu
führen, sind ferner auf der Drehungsachse, isolier
einander, zwei metallene Ringe r und r′ angebrac
mit je einem der freien Drahtenden d und d′ der Induktionsrollen leitend verbu
auf den Ringen aber schleifen die metallenen Federn f und f′. Schaltet man
zwischen diese Federn eine äußere Leitung L ein, so wird letztere bei Umdr
der Achse von den in den Drahtrollen entstehenden Strömen durchflossen werd

Derjenige Teil einer elektrischen Maschine, welcher aus den Drahtrollen
dem weichen Eisenkern gebildet wird, führt den Namen Induktor oder A
Derselbe kann im einzelnen eine sehr verschiedene Einrichtung haben.

Zur Erzeugung starker Ströme wendet man Elektromagnete an. Um
solchen zu erregen, bedarf man natürlich zunächst eines elektrischen Stromes.
hat man nicht nötig, den erforderlichen Strom erst außerhalb der Maschi
entwickeln; derselbe läßt sich vielmehr in der Maschine selbst hervorrufen, indem
ein Princip anwendet, welches das dynamoelektrische genannt wird. Da
besteht in folgendem:

Eisen, welches einmal magnetisch gemacht worden ist, verliert seinen Magneti
nicht vollständig wieder; auch in dem weichen Eisen bleibt eine geringe A
desselben andauernd zurück (§. 106). Wenn man also den Eisenkern des E
magnets einer Maschine einmal auf irgend eine Weise magnetisch erregt, so e
derselbe fernerhin stets ein wenig Magnetismus. Diese kleine Spur von Magneti
induziert aber dann bei einer Drehung in den Windungen des Induktors

schwachen Strom. Ist die Maschine nun so eingerichtet, daß die Windungen des Induktors mit den Windungen des Elektromagnets eine zusammenhängende Leitung bilden, so fließt der entstandene Strom auch durch die letzteren Windungen hindurch und ruft so in dem Elektromagnete stärkeren Magnetismus hervor. Infolgedessen wird aber auch in dem Induktor ein kräftigerer Strom erzeugt, welcher seinerseits den Magnetismus des Elektromagnets von neuem vermehrt, wodurch dann wieder ein stärkerer Induktionsstrom entsteht u. s. w. Auf diese Weise kann man infolge der gegenseitigen Verstärkung des Magnetismus und des elektrischen Stromes durch Vergrößerung der Drehungsgeschwindigkeit die Stromstärke so lange steigern, bis der Elektromagnet seine größte magnetische Kraft erreicht hat.

Diejenigen Maschinen, bei welchen das entwickelte Princip zur Anwendung kommt, bezeichnet man gewöhnlich als dynamoelektrische, im Gegensatze zu den Maschinen mit Stahlmagneten, welche dann magnetelektrische genannt werden.

Um bei der durch Fig. 201 angedeuteten Maschine die Richtung der entstehenden Induktionsströme zu bestimmen, denken wir uns nach Ampère (§. 159) den Magnet senkrecht zu seiner Achse von parallelen elektrischen Strömen umkreist, welche sich, vom Südpol aus gesehen, wie die Zeiger einer Uhr, vom Nordpol aus in umgekehrtem Sinne bewegen. Eine einfache Überlegung zeigt dann, daß bei jeder ganzen Umdrehung zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung induziert werden, nämlich der eine, während sich die Rolle C dem Nordpole und D dem Südpole des Magnets NS nähert, und der andere, während sich C dem Südpole und D dem Nordpole nähert.

Sollen diese Ströme, welche nach jeder halben Umdrehung abwechselnd entgegengesetzt gerichtet sind, eine Leitung außerhalb der Maschine in demselben Sinne durchlaufen, so ist noch ein Stromwender oder Kommutator erforderlich, durch welchen bewirkt wird, daß die zu der Leitung führenden Drahtenden des Induktors in dem Augenblicke, in welchem der Strom wechselt, in umgekehrtem Sinne mit der Leitung verbunden werden.

Fig. 202 zeigt im Durchschnitt einen Stromwender sehr einfacher Art. An der Drehungsachse der Maschine sind, durch eine isolierende Schicht i von einander getrennt, zwei metallene Kreisabschnitte m und m′ angebracht, von denen der eine mit dem einen, der andere mit dem anderen Drahtende des Induktors in Verbindung steht; auf diesen Metallstücken aber schleifen zwei metallene Federn f und f′, mit denen die äußere Leitung L verbunden wird. Nehmen wir an, daß bei der abgebildeten Stellung der in dem Induktor entstehende Strom in das Metallstück m fließt, so geht derselbe durch die Feder f in die Leitung und durch die Feder f′ und das Metallstück m′ zum Induktor zurück. Nach einer halben Umdrehung kommt nun m mit f′, dagegen m′ mit f in Berührung; in diesem Augenblick wechselt aber auch nach dem Obigen der Strom in dem Induktor seine Richtung; er fließt demnach jetzt aus dem Induktor durch das Metallstück m′, also wiederum durch die Feder f in die Leitung, sodaß letztere beidemal in demselben Sinne von dem Strome durchflossen wird.

(Fig. 202.)



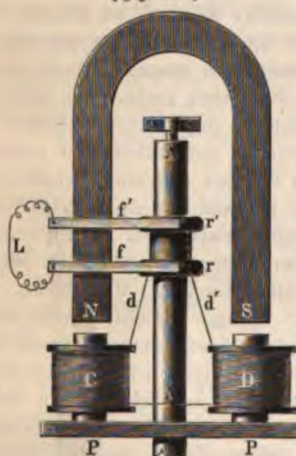
Mit der magnetelektrischen Maschine der beschriebenen Art lassen sich ähnliche physiologische, thermische, chemische und magnetische Wirkungen hervorbringen wie mit einer galvanischen Batterie. Ein wesentlicher Übelstand dieser Maschinen älterer Konstruktion beruht aber darin, daß sie unterbrochene, wenn auch sehr schnell auf einander folgende Ströme von wechselnder Richtung erzeugen, während der Batteriestrom gleichmäßig und in derselben Richtung dahinfließt.

Erst in neuerer Zeit ist es gelungen, dynamoelektrische Maschinen herzustellen, welche kontinuierliche Ströme von gleichbleibender Richtung ohne Anwendung eines Kommutators zu entwickeln vermögen. Die erste und wichtigste Form dieser neueren Dynamomaschine ist die Grammesche Ringmaschine, deren Induktor von einem mit zahlreichen Drahtrollen umgebenen Ringe aus weichem Eisen gebildet wird, welcher zwischen den Polen eines Magnets in Rotation versetzt werden kann.

verstärken läßt, daß man im Innern der Rolle einen Kern aus weich anbringt. Wird nun die angegebene Bewegung öfters und rasch hinter ausgeführt, so muß die Drahtrolle von zahlreichen, schnell auf einander Strömen durchflossen werden. Auf diese Weise kann vermittelst eines Magn Bewegung, durch Aufwand von Arbeit, elektrische Ströme erzeugen. Vorri welche hierzu dienen, nennt man magnet= oder dynamoelektrische Maj

Das Princip einer einfachen magnetelektrischen Maschine kann gen Fig. 201 erkannt werden. Vor den Polen eines Stahlmagnets N und S sind Eisenplatte PP zwei von Drahtrollen umgebene Cylinder aus weichem Eisen befestigt; dabei laufen die Windungen der beid rollen, welche zu einer einheitlichen Leitung sind, wie bei einem Elektromagnet (s. Fig. 185 in entgegengesetztem Sinne um die Eisenkern die Eisenplatte PP ist ferner mit der Achse verbunden. Durch Umdrehung dieser Achse die beiden Eisencylinder mit den Drahtrollen Aufeinanderfolge vor den Polen des festen vorbeigeführt werden, und es müssen dann Obigen in den Drahtrollen fortgesetzt Indukti entstehen, welche sich um so schneller folgen, die Umdrehung geschieht.

(Fig. 201.)



Um diese Ströme durch eine äußere L führen, sind ferner auf der Drehungsachse, is einander, zwei metallene Ringe r und r' angeb mit je einem der freien Drahtenden d und d' der Induktionsrollen leitend ve auf den Ringen aber schleifen die metallenen Federn f und f'. Schaltet zwischen diese Federn eine äußere Leitung L ein, so wird letztere bei U der Achse von den in den Drahtrollen entstehenden Strömen durchflossen n

Derjenige Teil einer elektrischen Maschine, welcher aus den Drahtro dem weichen Eisenkern gebildet wird, führt den Namen Induktor oder Derselbe kann im einzelnen eine sehr verschiedene Einrichtung haben.

Zur Erzeugung starker Ströme wendet man Elektromagnete an. solchen zu erregen, bedarf man natürlich zunächst eines elektrischen Strome hat man nicht nötig, den erforderlichen Strom erst außerhalb der Ma entwickeln; derselbe läßt sich vielmehr in der Maschine selbst hervorrufen, in ein Princip anwendet, welches das dynamoelektrische genannt wird. besteht in folgendem:

Eisen, welches einmal magnetisch gemacht worden ist, verliert seinen Mag nicht vollständig wieder; auch in dem weichen Eisen bleibt eine gering desselben andauernd zurück (§. 106). Wenn man also den Eisenkern des magnets einer Maschine einmal auf irgend eine Weise magnetisch erregt, derselbe fernerhin stets ein wenig Magnetismus. Diese kleine Spur von Mag induziert aber dann bei einer Drehung in den Windu

schwachen Strom. Ist die Maschine nun so eingerichtet, daß die Windungen des Induktors mit den Windungen des Elektromagnets eine zusammenhängende Leitung bilden, so fließt der entstandene Strom auch durch die letzteren Windungen hindurch und ruft so in dem Elektromagnete stärkeren Magnetismus hervor. Infolgedessen wird aber auch in dem Induktor ein kräftigerer Strom erzeugt, welcher seinerseits den Magnetismus des Elektromagnets von neuem vermehrt, wodurch dann wieder ein stärkerer Induktionsstrom entsteht u. s. w. Auf diese Weise kann man infolge der gegenseitigen Verstärkung des Magnetismus und des elektrischen Stromes durch Vergrößerung der Drehungsgeschwindigkeit die Stromstärke so lange steigern, bis der Elektromagnet seine größte magnetische Kraft erreicht hat.

Diejenigen Maschinen, bei welchen das entwickelte Princip zur Anwendung kommt, bezeichnet man gewöhnlich als dynamoelektrische, im Gegensatze zu den Maschinen mit Stahlmagneten, welche dann magnetelektrische genannt werden.

Um bei der durch Fig. 201 angedeuteten Maschine die Richtung der entstehenden Induktionsströme zu bestimmen, denken wir uns nach Ampère (§. 159) den Magnet senkrecht zu seiner Achse von parallelen elektrischen Strömen umkreist, welche sich, vom Südpol aus gesehen, wie die Zeiger einer Uhr, vom Nordpol aus in umgekehrtem Sinne bewegen. Eine einfache Überlegung zeigt dann, daß bei jeder ganzen Umdrehung zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung induziert werden, nämlich der eine, während sich die Rolle C dem Nordpole und D dem Südpole des Magnets NS nähert, und der andere, während sich C dem Südpole und D dem Nordpole nähert.

Sollen diese Ströme, welche nach jeder halben Umdrehung abwechselnd entgegengesetzt gerichtet sind, eine Leitung außerhalb der Maschine in demselben Sinne durchlaufen, so ist noch ein Stromwender oder Kommutator erforderlich, durch welchen bewirkt wird, daß die zu der Leitung führenden Drahtenden des Induktors in dem Augenblicke, in welchem der Strom wechselt, in umgekehrtem Sinne mit der Leitung verbunden werden.

Fig. 202 zeigt im Durchschnitt einen Stromwender sehr einfacher Art. An der Drehungsachse der Maschine sind, durch eine isolierende Schicht i von einander getrennt, zwei metallene Kreisabschnitte m und m′ angebracht, von denen der eine mit dem einen, der andere mit dem anderen Drahtende des Induktors in Verbindung steht; auf diesen Metallstücken aber schleifen zwei metallene Federn f und f′, mit denen die äußere Leitung L verbunden wird. Nehmen wir an, daß bei der abgebildeten Stellung der in dem Induktor entstehende Strom in das Metallstück m fließt, so geht derselbe durch die Feder f in die Leitung und durch die Feder f′ und das Metallstück m′ zum Induktor zurück. Nach einer halben Umdrehung kommt nun m mit f′, dagegen m′ mit f in Berührung; in diesem Augenblick wechselt aber auch nach dem Obigen der Strom in dem Induktor seine Richtung; er fließt demnach jetzt aus dem Induktor durch das Metallstück m′, also wiederum durch die Feder f in die Leitung, sodaß letztere beidemal in demselben Sinne von dem Strome durchflossen wird.

(Fig. 202.)



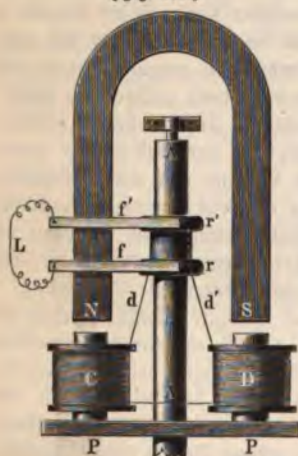
Mit der magnetelektrischen Maschine der beschriebenen Art lassen sich ähnliche physiologische, thermische, chemische und magnetische Wirkungen hervorbringen wie mit einer galvanischen Batterie. Ein wesentlicher Übelstand dieser Maschinen älterer Konstruktion beruht aber darin, daß sie unterbrochene, wenn auch sehr schnell auf einander folgende Ströme von wechselnder Richtung erzeugen, während der Batteriestrom gleichmäßig und in derselben Richtung dahinfließt.

Erst in neuerer Zeit ist es gelungen, dynamoelektrische Maschinen herzustellen, welche kontinuierliche Ströme von gleichbleibender Richtung ohne Anwendung eines Kommutators zu entwickeln vermögen. Die erste und wichtigste Form dieser neueren Dynamomaschine ist die Grammesche Ringmaschine, deren Induktor von einem mit zahlreichen Drahtrollen umgebenen weichem Eisen gebildet wird, welcher zwischen den Polen eines Magnets in Rotation versetzt

verstärken läßt, daß man im Innern der Rolle einen Kern aus weichem Eisen anbringt. Wird nun die angegebene Bewegung öfters und rasch hinter einander ausgeführt, so muß die Drahtrolle von zahlreichen, schnell auf einander folgenden Strömen durchflossen werden. Auf diese Weise kann vermittelst eines Magnets durch Bewegung, durch Aufwand von Arbeit, elektrische Ströme erzeugen. Vorrichtungen, welche hierzu dienen, nennt man magnet- oder dynamoelektrische Maschinen.

Das Princip einer einfachen magnetelektrischen Maschine kann genauer aus Fig. 201 erkannt werden. Vor den Polen eines Stahlmagnets N und S sind auf einer Eisenplatte PP zwei von Drahtrollen umgebene Cylinder aus weichem Eisen C und D befestigt; dabei laufen die Windungen der beiden Drahtrollen, welche zu einer einheitlichen Leitung verbunden sind, wie bei einem Elektromagnet (s. Fig. 185, S. 232) in entgegengesetztem Sinne um die Eisenkerne herum; die Eisenplatte PP ist ferner mit der Achse AA fest verbunden. Durch Umdrehung dieser Achse können so die beiden Eisencylinder mit den Drahtrollen in rascher Aufeinanderfolge vor den Polen des festen Magnets vorbeigeführt werden, und es müssen dann nach dem Obigen in den Drahtrollen fortgesetzt Induktionsströme entstehen, welche sich um so schneller folgen, je rascher die Umdrehung geschieht.

(Fig. 201.)



Um diese Ströme durch eine äußere Leitung zu führen, sind ferner auf der Drehungsachse, isoliert von einander, zwei metallene Ringe r und r' angebracht und mit je einem der freien Drahtenden d und d' der Induktionsrollen leitend verbunden; auf den Ringen aber schleifen die metallenen Federn f und f'. Schaltet man nun zwischen diese Federn eine äußere Leitung L ein, so wird letztere bei Umdrehung der Achse von den in den Drahtrollen entstehenden Strömen durchflossen werden.

Derjenige Teil einer elektrischen Maschine, welcher aus den Drahtrollen und dem weichen Eisenkern gebildet wird, führt den Namen Induktor oder Anker. Derselbe kann im einzelnen eine sehr verschiedene Einrichtung haben.

Zur Erzeugung starker Ströme wendet man Elektromagnete an. Um einen solchen zu erregen, bedarf man natürlich zunächst eines elektrischen Stromes. Doch hat man nicht nötig, den erforderlichen Strom erst außerhalb der Maschine zu entwickeln; derselbe läßt sich vielmehr in der Maschine selbst hervorrufen, indem man ein Princip anwendet, welches das dynamoelektrische genannt wird. Dasselbe besteht in folgendem:

Eisen, welches einmal magnetisch gemacht worden ist, verliert seinen Magnetismus nicht vollständig wieder; auch in dem weichen Eisen bleibt eine geringe Menge desselben andauernd zurück (§. 106). Wenn man also den Eisenkern des Elektromagnets einer Maschine einmal auf irgend eine Weise magnetisch erregt, so enthält derselbe fernerhin stets ein wenig Magnetismus. Diese kleine Spur von Magnetismus induziert aber dann bei einer Drehung in den Windungen des Induktors einen

schwachen Strom. Ist die Maschine nun so eingerichtet, daß die Windungen des Induktors mit den Windungen des Elektromagnets eine zusammenhängende Leitung bilden, so fließt der entstandene Strom auch durch die letzteren Windungen hindurch und ruft so in dem Elektromagnete stärkeren Magnetismus hervor. Infolgedessen wird aber auch in dem Induktor ein kräftigerer Strom erzeugt, welcher seinerseits den Magnetismus des Elektromagnets von neuem vermehrt, wodurch dann wieder ein stärkerer Induktionsstrom entsteht u. s. w. Auf diese Weise kann man infolge der gegenseitigen Verstärkung des Magnetismus und des elektrischen Stromes durch Vergrößerung der Drehungsgeschwindigkeit die Stromstärke so lange steigern, bis der Elektromagnet seine größte magnetische Kraft erreicht hat.

Diejenigen Maschinen, bei welchen das entwickelte Princip zur Anwendung kommt, bezeichnet man gewöhnlich als dynamoelektrische, im Gegensatze zu den Maschinen mit Stahlmagneten, welche dann magnetelektrische genannt werden.

Um bei der durch Fig. 201 angedeuteten Maschine die Richtung der entstehenden Induktionsströme zu bestimmen, denken wir uns nach Ampère (§. 159) den Magnet senkrecht zu seiner Achse von parallelen elektrischen Strömen umkreist, welche sich, vom Südpol aus gesehen, wie die Zeiger einer Uhr, vom Nordpol aus in umgekehrtem Sinne bewegen. Eine einfache Überlegung zeigt dann, daß bei jeder ganzen Umdrehung zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung induziert werden, nämlich der eine, während sich die Rolle C dem Nordpole und D dem Südpole des Magnets NS nähert, und der andere, während sich C dem Südpole und D dem Nordpole nähert.

Sollen diese Ströme, welche nach jeder halben Umdrehung abwechselnd entgegengesetzt gerichtet sind, eine Leitung außerhalb der Maschine in demselben Sinne durchlaufen, so ist noch ein Stromwender oder Kommutator erforderlich, durch welchen bewirkt wird, daß die zu der Leitung führenden Drahtenden des Induktors in dem Augenblicke, in welchem der Strom wechselt, in umgekehrtem Sinne mit der Leitung verbunden werden.

Fig. 202 zeigt im Durchschnitt einen Stromwender sehr einfacher Art. An der Drehungsachse der Maschine sind, durch eine isolierende Schicht i von einander getrennt, zwei metallene Kreisabschnitte m und m′ angebracht, von denen der eine mit dem einen, der andere mit dem anderen Drahtende des Induktors in Verbindung steht; auf diesen Metallstücken aber schleifen zwei metallene Federn f und f′, mit denen die äußere Leitung L verbunden wird. Nehmen wir an, daß bei der abgebildeten Stellung der in dem Induktor entstehende Strom in das Metallstück m fließt, so geht derselbe durch die Feder f in die Leitung und durch die Feder f′ und das Metallstück m′ zum Induktor zurück. Nach einer halben Umdrehung kommt nun m mit f′, dagegen m′ mit f in Berührung; in diesem Augenblick wechselt aber auch nach dem Obigen der Strom in dem Induktor seine Richtung; er fließt demnach jetzt aus dem Induktor durch das Metallstück m′, also wiederum durch die Feder f in die Leitung, sodaß letztere beidemal in demselben Sinne von dem Strome durchflossen wird.

(Fig. 202.)



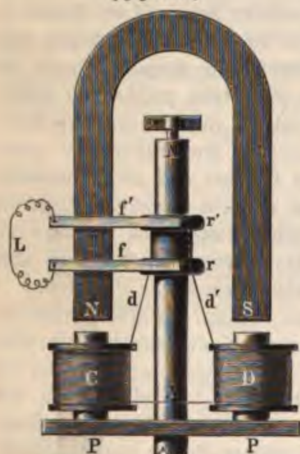
Mit der magnetelektrischen Maschine der beschriebenen Art lassen sich ähnliche physiologische, thermische, chemische und magnetische Wirkungen hervorbringen wie mit einer galvanischen Batterie. Ein wesentlicher Übelstand dieser Maschinen älterer Konstruktion beruht aber darin, daß sie unterbrochene, wenn auch sehr schnell auf einander folgende Ströme von wechselnder Richtung erzeugen, während der Batteriestrom gleichmäßig und in derselben Richtung dahinfließt.

Erst in neuerer Zeit ist es gelungen, dynamoelektrische Maschinen herzustellen, welche kontinuierliche Ströme von gleichbleibender Richtung ohne Anwendung eines Kommutators zu entwickeln vermögen. Die erste und wichtigste Form dieser neueren Dynamomaschine ist die Grammesche Ringmaschine, deren Induktor von einem mit zahlreichen Drahtrollen umgebenen Ringe aus weichem Eisen gebildet wird, welcher zwischen den Polen eines Magnets in Rotation versetzt werden kann.

verstärken läßt, daß man im Innern der Rolle einen Kern aus weichem Eisen anbringt. Wird nun die angegebene Bewegung öfters und rasch hinter einander ausgeführt, so muß die Drahtrolle von zahlreichen, schnell auf einander folgenden Strömen durchflossen werden. Auf diese Weise kann vermittelst eines Magnets durch Bewegung, durch Aufwand von Arbeit, elektrische Ströme erzeugen. Vorrichtungen, welche hierzu dienen, nennt man magnet- oder dynamoelektrische Maschinen.

Das Princip einer einfachen magnetelektrischen Maschine kann genauer aus Fig. 201 erkannt werden. Vor den Polen eines Stahlmagnets N und S sind auf einer Eisenplatte PP zwei von Drahtrollen umgebene Cylinder aus weichem Eisen C und D befestigt; dabei laufen die Windungen der beiden Drahtrollen, welche zu einer einheitlichen Leitung verbunden sind, wie bei einem Elektromagnet (s. Fig. 185, S. 232) in entgegengesetztem Sinne um die Eisenkerne herum; die Eisenplatte PP ist ferner mit der Achse AA fest verbunden. Durch Umdrehung dieser Achse können so die beiden Eisencylinder mit den Drahtrollen in rascher Aufeinanderfolge vor den Polen des festen Magnets vorbeigeführt werden, und es müssen dann nach dem Obigen in den Drahtrollen fortgesetzt Induktionsströme entstehen, welche sich um so schneller folgen, je rascher die Umdrehung geschieht.

(Fig. 201.)



Um diese Ströme durch eine äußere Leitung zu führen, sind ferner auf der Drehungsachse, isoliert von einander, zwei metallene Ringe r und r′ angebracht und mit je einem der freien Drahtenden d und d′ der Induktionsrollen leitend verbunden; auf den Ringen aber schleifen die metallenen Federn f und f′. Schaltet man nun zwischen diese Federn eine äußere Leitung L ein, so wird letztere bei Umdrehung der Achse von den in den Drahtrollen entstehenden Strömen durchflossen werden.

Derjenige Teil einer elektrischen Maschine, welcher aus den Drahtrollen und dem weichen Eisenkern gebildet wird, führt den Namen Induktor oder Anker. Derselbe kann im einzelnen eine sehr verschiedene Einrichtung haben.

Zur Erzeugung starker Ströme wendet man Elektromagnete an. Um einen solchen zu erregen, bedarf man natürlich zunächst eines elektrischen Stromes. Doch hat man nicht nötig, den erforderlichen Strom erst außerhalb der Maschine zu entwickeln; derselbe läßt sich vielmehr in der Maschine selbst hervorrufen, indem man ein Princip anwendet, welches das dynamoelektrische genannt wird. Dasselbe besteht in folgendem:

Eisen, welches einmal magnetisch gemacht worden ist, verliert seinen Magnetismus nicht vollständig wieder; auch in dem weichen Eisen bleibt eine geringe Menge desselben andauernd zurück (§. 106). Wenn man also den Eisenkern des Elektromagnets einer Maschine einmal auf irgend eine Weise magnetisch erregt, so enthält derselbe fernerhin stets ein wenig Magnetismus. Diese kleine Spur von Magnetismus induziert aber dann bei einer Drehung in den Windungen des Induktors einen

schwachen Strom. Ist die Maschine nun so eingerichtet, daß die Windungen des Induktors mit den Windungen des Elektromagnets eine zusammenhängende Leitung bilden, so fließt der entstandene Strom auch durch die letzteren Windungen hindurch und ruft so in dem Elektromagnete stärkeren Magnetismus hervor. Infolgedessen wird aber auch in dem Induktor ein kräftigerer Strom erzeugt, welcher seinerseits den Magnetismus des Elektromagnets von neuem vermehrt, wodurch dann wieder ein stärkerer Induktionsstrom entsteht u. s. w. Auf diese Weise kann man infolge der gegenseitigen Verstärkung des Magnetismus und des elektrischen Stromes durch Vergrößerung der Drehungsgeschwindigkeit die Stromstärke so lange steigern, bis der Elektromagnet seine größte magnetische Kraft erreicht hat.

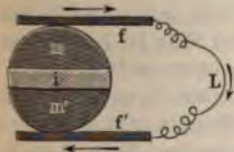
Diejenigen Maschinen, bei welchen das entwickelte Princip zur Anwendung kommt, bezeichnet man gewöhnlich als dynamoelektrische, im Gegensatze zu den Maschinen mit Stahlmagneten, welche dann magnetelektrische genannt werden.

Um bei der durch Fig. 201 angedeuteten Maschine die Richtung der entstehenden Induktionsströme zu bestimmen, denken wir uns nach Ampère (§. 159) den Magnet senkrecht zu seiner Achse von parallelen elektrischen Strömen umkreist, welche sich, vom Südpol aus gesehen, wie die Zeiger einer Uhr, vom Nordpol aus in umgekehrtem Sinne bewegen. Eine einfache Überlegung zeigt dann, daß bei jeder ganzen Umdrehung zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung induziert werden, nämlich der eine, während sich die Rolle C dem Nordpole und D dem Südpole des Magnets NS nähert, und der andere, während sich C dem Südpole und D dem Nordpole nähert.

Sollen diese Ströme, welche nach jeder halben Umdrehung abwechselnd entgegengesetzt gerichtet sind, eine Leitung außerhalb der Maschine in demselben Sinne durchlaufen, so ist noch ein Stromwender oder Kommutator erforderlich, durch welchen bewirkt wird, daß die zu der Leitung führenden Drahtenden des Induktors in dem Augenblicke, in welchem der Strom wechselt, in umgekehrtem Sinne mit der Leitung verbunden werden.

Fig. 202 zeigt im Durchschnitt einen Stromwender sehr einfacher Art. An der Drehungsachse der Maschine sind, durch eine isolierende Schicht i von einander getrennt, zwei metallene Kreisabschnitte m und m' angebracht, von denen der eine mit dem einen, der andere mit dem anderen Drahtende des Induktors in Verbindung steht; auf diesen Metallstücken aber schleifen zwei metallene Federn f und f', mit denen die äußere Leitung L verbunden wird. Nehmen wir an, daß bei der abgebildeten Stellung der in dem Induktor entstehende Strom in das Metallstück m fließt, so geht derselbe durch die Feder f in die Leitung und durch die Feder f' und das Metallstück m' zum Induktor zurück. Nach einer halben Umdrehung kommt nun m mit f', dagegen m' mit f in Berührung; in diesem Augenblick wechselt aber auch nach dem Obigen der Strom in dem Induktor seine Richtung; er fließt demnach jetzt aus dem Induktor durch das Metallstück m', also wiederum durch die Feder f in die Leitung, sodaß letztere beidemal in demselben Sinne von dem Strome durchflossen wird.

(Fig. 202.)



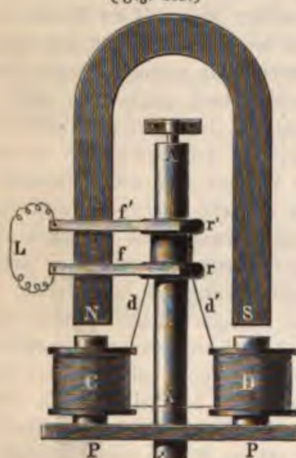
Mit der magnetelektrischen Maschine der beschriebenen Art lassen sich ähnliche physiologische, thermische, chemische und magnetische Wirkungen hervorbringen wie mit einer galvanischen Batterie. Ein wesentlicher Übelstand dieser Maschinen älterer Konstruktion beruht aber darin, daß sie unterbrochene, wenn auch sehr schnell auf einander folgende Ströme von wechselnder Richtung erzeugen, während der Batteriestrom gleichmäßig und in derselben Richtung dahinfließt.

Erst in neuerer Zeit ist es gelungen, dynamoelektrische Maschinen herzustellen, welche kontinuierliche Ströme von gleichbleibender Richtung ohne Anwendung eines Kommutators zu entwickeln vermögen. Die erste und wichtigste Form dieser neueren Dynamomaschine ist die Grammesche Ringmaschine, deren Induktor von einem mit zahlreichen Drahtrollen umgebenen Ringe aus weichem Eisen gebildet wird, welcher zwischen den Polen eines Magnets in Rotation versetzt werden kann.

verstärken läßt, daß man im Innern der Rolle einen Kern aus weichem Eisen anbringt. Wird nun die angegebene Bewegung öfters und rasch hinter einander ausgeführt, so muß die Drahtrolle von zahlreichen, schnell auf einander folgenden Strömen durchflossen werden. Auf diese Weise kann vermittelst eines Magnets durch Bewegung, durch Aufwand von Arbeit, elektrische Ströme erzeugen. Vorrichtungen, welche hierzu dienen, nennt man magnet- oder dynamoelektrische Maschinen.

Das Princip einer einfachen magnetelektrischen Maschine kann genauer aus Fig. 201 erkannt werden. Vor den Polen eines Stahlmagnets N und S sind auf einer Eisenplatte PP zwei von Drahtrollen umgebene Cylinder aus weichem Eisen C und D befestigt; dabei laufen die Windungen der beiden Drahtrollen, welche zu einer einheitlichen Leitung verbunden sind, wie bei einem Elektromagnet (s. Fig. 185, S. 232) in entgegengesetztem Sinne um die Eisenkerne herum; die Eisenplatte PP ist ferner mit der Achse AA fest verbunden. Durch Umdrehung dieser Achse können so die beiden Eisencylinder mit den Drahtrollen in rascher Aufeinanderfolge vor den Polen des festen Magnets vorbeigeführt werden, und es müssen dann nach dem Obigen in den Drahtrollen fortgesetzt Induktionsströme entstehen, welche sich um so schneller folgen, je rascher die Umdrehung geschieht.

(Fig. 201.)



Um diese Ströme durch eine äußere Leitung zu führen, sind ferner auf der Drehungsachse, isoliert von einander, zwei metallene Ringe r und r' angebracht und mit je einem der freien Drahtenden d und d' der Induktionsrollen leitend verbunden; auf den Ringen aber schleifen die metallenen Federn f und f'. Schaltet man nun zwischen diese Federn eine äußere Leitung L ein, so wird letztere bei Umdrehung der Achse von den in den Drahtrollen entstehenden Strömen durchflossen werden.

Derjenige Teil einer elektrischen Maschine, welcher aus den Drahtrollen und dem weichen Eisenkern gebildet wird, führt den Namen Induktor oder Anker. Derselbe kann im einzelnen eine sehr verschiedene Einrichtung haben.

Zur Erzeugung starker Ströme wendet man Elektromagnete an. Um einen solchen zu erregen, bedarf man natürlich zunächst eines elektrischen Stromes. Doch hat man nicht nötig, den erforderlichen Strom erst außerhalb der Maschine zu entwickeln; derselbe läßt sich vielmehr in der Maschine selbst hervorrufen, indem man ein Princip anwendet, welches das dynamoelektrische genannt wird. Dasselbe besteht in folgendem:

Eisen, welches einmal magnetisch gemacht worden ist, verliert seinen Magnetismus nicht vollständig wieder; auch in dem weichen Eisen bleibt eine geringe Menge desselben andauernd zurück (§. 106). Wenn man also den Eisenkern des Elektromagnets einer Maschine einmal auf irgend eine Weise magnetisch erregt, so enthält derselbe fernerhin stets ein wenig Magnetismus. Diese kleine Spur von Magnetismus induziert aber dann bei einer Drehung in den Windungen des Induktors einen

schwachen Strom. Ist die Maschine nun so eingerichtet, daß die Windungen des Induktors mit den Windungen des Elektromagnets eine zusammenhängende Leitung bilden, so fließt der entstandene Strom auch durch die letzteren Windungen hindurch und ruft so in dem Elektromagnete stärkeren Magnetismus hervor. Infolgedessen wird aber auch in dem Induktor ein kräftigerer Strom erzeugt, welcher seinerseits den Magnetismus des Elektromagnets von neuem vermehrt, wodurch dann wieder ein stärkerer Induktionsstrom entsteht u. s. w. Auf diese Weise kann man infolge der gegenseitigen Verstärkung des Magnetismus und des elektrischen Stromes durch Vergrößerung der Drehungsgeschwindigkeit die Stromstärke so lange steigern, bis der Elektromagnet seine größte magnetische Kraft erreicht hat.

Diejenigen Maschinen, bei welchen das entwickelte Princip zur Anwendung kommt, bezeichnet man gewöhnlich als **dynamoelektrische**, im Gegensatze zu den Maschinen mit Stahlmagneten, welche dann **magnetelektrische** genannt werden.

Um bei der durch Fig. 201 angedeuteten Maschine die Richtung der entstehenden Induktionsströme zu bestimmen, denken wir uns nach Ampère (§. 159) den Magnet senkrecht zu seiner Achse von parallelen elektrischen Strömen umkreist, welche sich, vom Südpol aus gesehen, wie die Zeiger einer Uhr, vom Nordpol aus in umgekehrtem Sinne bewegen. Eine einfache Überlegung zeigt dann, daß bei jeder ganzen Umdrehung zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung induziert werden, nämlich der eine, während sich die Rolle C dem Nordpole und D dem Südpole des Magnets NS nähert, und der andere, während sich C dem Südpole und D dem Nordpole nähert.

Sollen diese Ströme, welche nach jeder halben Umdrehung abwechselnd entgegengesetzt gerichtet sind, eine Leitung außerhalb der Maschine in demselben Sinne durchlaufen, so ist noch ein **Stromwender** oder **Kommutator** erforderlich, durch welchen bewirkt wird, daß die zu der Leitung führenden Drahtenden des Induktors in dem Augenblicke, in welchem der Strom wechselt, in umgekehrtem Sinne mit der Leitung verbunden werden.

Fig. 202 zeigt im Durchschnitt einen Stromwender sehr einfacher Art. An der Drehungsachse der Maschine sind, durch eine isolierende Schicht i von einander getrennt, zwei metallene Kreisabschnitte m und m′ angebracht, von denen der eine mit dem einen, der andere mit dem anderen Drahtende des Induktors in Verbindung steht; auf diesen Metallstücken aber schleifen zwei metallene Federn f und f′, mit denen die äußere Leitung L verbunden wird. Nehmen wir an, daß bei der abgebildeten Stellung der in dem Induktor entstehende Strom in das Metallstück m fließt, so geht derselbe durch die Feder f in die Leitung und durch die Feder f′ und das Metallstück m′ zum Induktor zurück. Nach einer halben Umdrehung kommt nun m mit f′, dagegen m′ mit f in Berührung; in diesem Augenblick wechselt aber auch nach dem Obigen der Strom in dem Induktor seine Richtung; er fließt demnach jetzt aus dem Induktor durch das Metallstück m′, also wiederum durch die Feder f in die Leitung, sodaß letztere beidemal in demselben Sinne von dem Strome durchflossen wird.

(Fig. 202.)



Mit der magnetelektrischen Maschine der beschriebenen Art lassen sich ähnliche physiologische, thermische, chemische und magnetische Wirkungen hervorbringen wie mit einer galvanischen Batterie. Ein wesentlicher Übelstand dieser Maschinen älterer Konstruktion beruht aber darin, daß sie unterbrochene, wenn auch sehr schnell auf einander folgende Ströme von wechselnder Richtung erzeugen, während der Batteriestrom gleichmäßig und in derselben Richtung dahinfließt.

Erst in neuerer Zeit ist es gelungen, dynamoelektrische Maschinen herzustellen, welche **kontinuierliche** Ströme von **gleichbleibender** Richtung ohne Anwendung eines Kommutators zu entwickeln vermögen. Die erste und wichtigste Form dieser neueren Dynamomaschine ist die **Grammesche Ringmaschine**, deren Induktor von einem mit zahlreichen Drahtrollen umgebenen Ringe aus weichem Eisen gebildet wird, welcher zwischen den Polen eines Magnets in Rotation versetzt werden kann.

§. 161. Induktionsapparate. Wenn man bei den Versuchen des §. 160, a über elektrische Induktion in die Hauptrolle einen Cylinder aus weichem Eisen oder noch besser ein Bündel von Eisendrähten steckt, so erhält man weit kräftigere Ströme, als ohne dies der Fall sein würde. Indem nämlich in dem Eisen beim Schließen des Hauptstromes Magnetismus erregt wird, beim Öffnen der Kette wieder verschwindet, werden zufolge des vorig. §. in der Nebenrolle Ströme induziert, welche mit den durch das Schließen und Öffnen des Hauptstromes erregten gleiche Richtung haben und daher diese verstärken.

Hierauf gründet sich die Einrichtung der besonderen Induktionsapparate, in denen durch schnell auf einander folgendes Schließen und Öffnen des von einer galvanischen Kette gelieferten Hauptstromes kräftige Induktionsströme von hoher Spannung hervorgerufen werden. Dabei wird das Öffnen und Schließen der Kette selbstthätig von seiten des Hauptstromes durch Erregung eines Elektromagnets bewirkt.

Die wesentlichen Bestandteile eines Induktionsapparates sind nach dem Obigen die Induktionsrolle und der Stromunterbrecher. Die Induktionsrolle enthält eine innere Rolle (die Hauptrolle zur Aufnahme des galvanischen Stromes), welche aus verhältnismäßig wenig Windungen eines dicken Drahtes besteht, und eine diese umgebende äußere Rolle (die Nebenrolle), welche aus zahlreichen (bei größeren Apparaten mehrere 1000) Windungen eines sehr dünnen Drahtes gebildet wird. Innerhalb der inneren Rolle befindet sich ein Bündel von Eisendrähten, welche behufs gegenseitiger Isolierung überfirnißt sind. Solche Drahtbündel haben vor massiven Eisenkernen den Vorzug, weil in ersteren der Magnetismus schneller entsteht und wieder verschwindet; in dem Eisenkern werden nämlich beim Schließen und Öffnen der Kette ebenfalls Induktionsströme erzeugt, welche auf das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus verzögernd einwirken. — Als Stromunterbrecher dient gewöhnlich ein magnetischer Hammer, welcher ähnlich wie bei den elektrischen Klingeln (§. 157) eingerichtet ist.

Die kleineren Induktionsapparate dienen zur Erzeugung physiologischer Wirkungen für Heilzwecke, die größeren dagegen zur Erzeugung kräftiger Funken. Letztere Apparate nennt man Funkeninduktoren (auch Rhumkorffsche Apparate). Ein Funkeninduktor ist gewöhnlich auch noch mit einem Stromwender (Kommutator, s. §. 141) versehen, welcher dazu dient, den galvanischen Strom bald in der einen, bald in der entgegengesetzten Richtung durch den Apparat führen zu können. Derselbe ist bei den einzelnen Apparaten von sehr verschiedener Einrichtung.

(Fig. 200.)

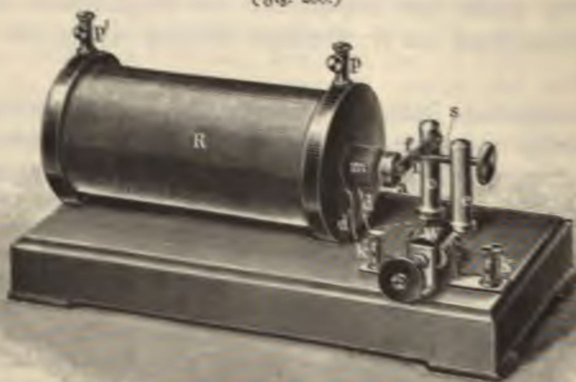


Fig. 200 stellt einen Funkeninduktor [illegible] ionsrolle R, magnetischer Hammer s, Stromwender W). Die Drahtenden der (äuß [illegible] stehen mit den Klemmschrauben p und p',

den Polen des Apparates, in Verbindung, die (an der rechten Seite der Induktionsrolle hervortretenden) Drahtenden d und d' der (inneren) Hauptrolle dagegen mit den Klemmen k und k', durch welche der galvanische Strom in den Apparat eingeführt wird. — Der zur Stromunterbrechung dienende magnetische Hammer hat hier die folgende Einrichtung: Eine metallene Feder f, welche mit dem einen Ende an einer metallenen Säule o befestigt ist, trägt an dem anderen Ende einen Anker a aus weichem Eisen (den Hammer), welcher sich dem einen Ende m des aus der Induktionsrolle hervorragenden Bündels aus Eisendrähten (dem einen Pole eines Elektromagnets) gerade gegenüber befindet. Auf der anderen Seite der Metallfeder f ist ferner an der metallenen Säule e eine verstellbare Schraube s angebracht, welche in einen kleinen Platinstift i endet; diese Schraube ist so gestellt, daß der Platinstift die Feder gerade berührt, wenn letztere sich in ihrer Ruhelage befindet. An der Berührungsstelle ist die Feder mit einer kleinen Platinplatte bedeckt. Die Säule e steht mit der Klemme k in leitender Verbindung, die Säule o dagegen mit dem einen Ende d der Hauptrolle. Es fließt demnach, wenn man etwa den positiven Pol einer galvanischen Kette mit der Klemme k, den negativen mit k' verbindet, der Strom über k, e, s, i, f, o, d in die Hauptrolle und von dieser über d'k' zur Kette zurück. Indem aber hierbei der Strom das Drahtbündel magnetisch macht und der so entstandene Magnetpol m den Hammer a anzieht, wird die Berührung zwischen der Feder f und dem Platinstift i aufgehoben, mithin die Stromleitung unterbrochen. Infolgedessen verschwindet der Magnetismus in dem Drahtbündel wieder und die Feder f geht in ihre frühere Lage zurück. Indem aber so die Stromleitung aufs neue hergestellt ist, wird der Hammer auch wieder angezogen und das nämliche Spiel wiederholt sich, wodurch in raschester Folge die Kette abwechselnd geschlossen und geöffnet wird. Man sieht hierbei zwischen Feder und Platinstift sowohl beim Schließen als beim Öffnen der Kette unausgesetzt kleine Funken überspringen. — Der Stromwender W hat die schon in §. 141 beschriebene und daselbst durch Fig. 164 in größerem Maßstabe dargestellte Einrichtung.

Nach §. 161, a, Anm. entstehen beim Öffnen des Hauptstromes kräftigere Induktionsströme als beim Schließen, indem die letzteren Induktionsströme durch den jedesmal auftretenden Extrastrom bedeutender geschwächt werden als die ersteren. Die Stärke der Öffnungsströme wird nun bei den größeren Induktionsapparaten dadurch noch wesentlich gesteigert, daß man den beim Öffnen entstehenden Extrastrom durch einen im Apparat angebrachten Kondensator (§. 129) auffängt. Derselbe besteht aus zwei Stanniolblättern, welche durch eine etwas größere Scheibe von Wachstaffet getrennt sind, und ist in dem hölzernen Boden des Apparates untergebracht. Die eine Belegung ist mit der Säule o, welche die Feder f trägt, die andere mit der Säule e, an welcher die mit dem Platinstift versehene Schraube s angebracht ist, in Verbindung gesetzt. Beim Öffnen der Kette fließen dann die entgegengesetzten Elektricitäten des Extrastromes in die Belegungen des Kondensators, um sich beim Schließen wieder zu vereinigen.

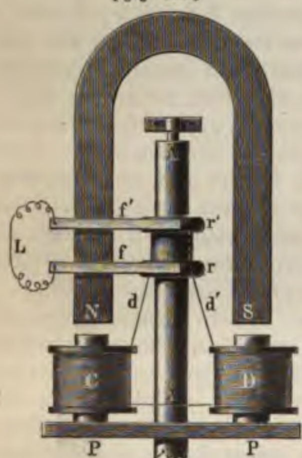
Verbindet man bei einem Funkeninduktor die Pole p und p' durch zwei einander bis auf einen kleinen Abstand genäherten Drähte, so sieht man zwischen denselben, wenn der Apparat in Thätigkeit ist, lebhafte Funken überspringen, welche bei den größeren Apparaten denen kräftiger Elektrisiermaschinen gleichkommen und daher starke mechanische Wirkungen äußern. — Die physiologischen Wirkungen der großen Apparate sind lebensgefährlich. — Minder erheblich sind die chemischen und magnetischen Wirkungen. — Vorzüglich eignen sich die Induktionsapparate insbesondere zur Erzeugung der elektrischen Lichterscheinungen in verdünnten Gasen (s. §. 133, d). Für diesen Zweck benutzt man gewöhnlich die nach ihrem Erfinder genannten Geißlerschen Röhren, d. h. mit den verdünnten Gasen gefüllte Glasröhren, in welche an den Enden zwei Platindrähte eingeschmolzen sind. Werden die äußeren Enden dieser Drähte mit den Polen des Apparates verbunden, so erscheint die negative Elektrode von einem bläulichen Lichte eingehüllt, die positive aber von rotem Lichte umgeben, welches letztere in Schichten, die durch dunkle Streifen getrennt sind, sich nach der negativen Elektrode hin ausbreitet. Die Erscheinung unterliegt mannigfachem Wechsel je nach der Art des Gases, dem Grade der Verdünnung, der Entfernung der Elektroden von einander u. dgl. m.

§. 162. Magnet- und dynamoelektrische Maschinen. Zufolge §. 160, b entsteht in einer Drahtrolle, wenn man dieselbe einem Magnetpole nähert oder von ihm entfernt, jedesmal ein Induktionsstrom, welcher sich noch dadurch bedeutend

verstärken läßt, daß man im Innern der Rolle einen Kern aus weichem Eisen anbringt. Wird nun die angegebene Bewegung öfters und rasch hinter einander ausgeführt, so muß die Drahtrolle von zahlreichen, schnell auf einander folgenden Strömen durchflossen werden. Auf diese Weise kann vermittelst eines Magnets durch Bewegung, durch Aufwand von Arbeit, elektrische Ströme erzeugen. Vorrichtungen, welche hierzu dienen, nennt man magnet- oder dynamoelektrische Maschinen.

Das Princip einer einfachen magnetelektrischen Maschine kann genauer aus Fig. 201 erkannt werden. Vor den Polen eines Stahlmagnets N und S sind auf einer Eisenplatte PP zwei von Drahtrollen umgebene Cylinder aus weichem Eisen C und D befestigt; dabei laufen die Windungen der beiden Drahtrollen, welche zu einer einheitlichen Leitung verbunden sind, wie bei einem Elektromagnet (s. Fig. 185, S. 232) in entgegengesetztem Sinne um die Eisenkerne herum; die Eisenplatte PP ist ferner mit der Achse AA fest verbunden. Durch Umdrehung dieser Achse können so die beiden Eisencylinder mit den Drahtrollen in rascher Aufeinanderfolge vor den Polen des festen Magnets vorbeigeführt werden, und es müssen dann nach dem Obigen in den Drahtrollen fortgesetzt Induktionsströme entstehen, welche sich um so schneller folgen, je rascher die Umdrehung geschieht.

(Fig. 201.)



Um diese Ströme durch eine äußere Leitung zu führen, sind ferner auf der Drehungsachse, isoliert von einander, zwei metallene Ringe r und r' angebracht und mit je einem der freien Drahtenden d und d' der Induktionsrollen leitend verbunden; auf den Ringen aber schleifen die metallenen Federn f und f'. Schaltet man nun zwischen diese Federn eine äußere Leitung L ein, so wird letztere bei Umdrehung der Achse von den in den Drahtrollen entstehenden Strömen durchflossen werden.

Derjenige Teil einer elektrischen Maschine, welcher aus den Drahtrollen und dem weichen Eisenkern gebildet wird, führt den Namen Induktor oder Anker. Derselbe kann im einzelnen eine sehr verschiedene Einrichtung haben.

Zur Erzeugung starker Ströme wendet man Elektromagnete an. Um einen solchen zu erregen, bedarf man natürlich zunächst eines elektrischen Stromes. Doch hat man nicht nötig, den erforderlichen Strom erst außerhalb der Maschine zu entwickeln; derselbe läßt sich vielmehr in der Maschine selbst hervorrufen, indem man ein Princip anwendet, welches das dynamoelektrische genannt wird. Dasselbe besteht in folgendem:

Eisen, welches einmal magnetisch gemacht worden ist, verliert seinen Magnetismus nicht vollständig wieder; auch in dem weichen Eisen bleibt eine geringe Menge desselben andauernd zurück (§. 106). Wenn man also den Eisenkern des Elektromagnets einer Maschine einmal auf irgend eine Weise magnetisch erregt, so enthält derselbe fernerhin stets ein wenig Magnetismus. Diese kleine Spur von Magnetismus induziert aber dann bei einer Dreh[...] Windungen des Induktors einen

schwachen Strom. Ist die Maschine nun so eingerichtet, daß die Windungen des Induktors mit den Windungen des Elektromagnets eine zusammenhängende Leitung bilden, so fließt der entstandene Strom auch durch die letzteren Windungen hindurch und ruft so in dem Elektromagnete stärkeren Magnetismus hervor. Infolgedessen wird aber auch in dem Induktor ein kräftigerer Strom erzeugt, welcher seinerseits den Magnetismus des Elektromagnets von neuem vermehrt, wodurch dann wieder ein stärkerer Induktionsstrom entsteht u. s. w. Auf diese Weise kann man infolge der gegenseitigen Verstärkung des Magnetismus und des elektrischen Stromes durch Vergrößerung der Drehungsgeschwindigkeit die Stromstärke so lange steigern, bis der Elektromagnet seine größte magnetische Kraft erreicht hat.

Diejenigen Maschinen, bei welchen das entwickelte Princip zur Anwendung kommt, bezeichnet man gewöhnlich als dynamoelektrische, im Gegensatze zu den Maschinen mit Stahlmagneten, welche dann magnetelektrische genannt werden.

Um bei der durch Fig. 201 angedeuteten Maschine die Richtung der entstehenden Induktionsströme zu bestimmen, denken wir uns nach Ampère (§. 159) den Magnet senkrecht zu seiner Achse von parallelen elektrischen Strömen umkreist, welche sich, vom Südpol aus gesehen, wie die Zeiger einer Uhr, vom Nordpol aus in umgekehrtem Sinne bewegen. Eine einfache Überlegung zeigt dann, daß bei jeder ganzen Umdrehung zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung induziert werden, nämlich der eine, während sich die Rolle C dem Nordpole und D dem Südpole des Magnets NS nähert, und der andere, während sich C dem Südpole und D dem Nordpole nähert.

Sollen diese Ströme, welche nach jeder halben Umdrehung abwechselnd entgegengesetzt gerichtet sind, eine Leitung außerhalb der Maschine in demselben Sinne durchlaufen, so ist noch ein Stromwender oder Kommutator erforderlich, durch welchen bewirkt wird, daß die zu der Leitung führenden Drahtenden des Induktors in dem Augenblicke, in welchem der Strom wechselt, in umgekehrtem Sinne mit der Leitung verbunden werden.

Fig. 202 zeigt im Durchschnitt einen Stromwender sehr einfacher Art. An der Drehungsachse der Maschine sind, durch eine isolierende Schicht i von einander getrennt, zwei metallene Kreisabschnitte m und m' angebracht, von denen der eine mit dem einen, der andere mit dem anderen Drahtende des Induktors in Verbindung steht; auf diesen Metallstücken aber schleifen zwei metallene Federn f und f', mit denen die äußere Leitung L verbunden wird. Nehmen wir an, daß bei der abgebildeten Stellung der in dem Induktor entstehende Strom in das Metallstück m fließt, so geht derselbe durch die Feder f in die Leitung und durch die Feder f' und das Metallstück m' zum Induktor zurück. Nach einer halben Umdrehung kommt nun m mit f', dagegen m' mit f in Berührung; in diesem Augenblick wechselt aber auch nach dem Obigen der Strom in dem Induktor seine Richtung; er fließt demnach jetzt aus dem Induktor durch das Metallstück m', also wiederum durch die Feder f in die Leitung, sodaß letztere beidemal in demselben Sinne von dem Strome durchflossen wird.

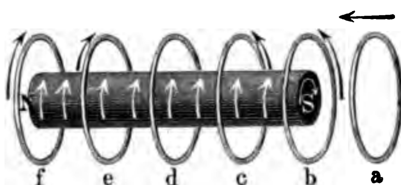
(Fig. 202.)



Mit der magnetelektrischen Maschine der beschriebenen Art lassen sich ähnliche physiologische, thermische, chemische und magnetische Wirkungen hervorbringen wie mit einer galvanischen Batterie. Ein wesentlicher Übelstand dieser Maschinen älterer Konstruktion beruht aber darin, daß sie unterbrochene, wenn auch sehr schnell auf einander folgende Ströme von wechselnder Richtung erzeugen, während der Batteriestrom gleichmäßig und in derselben Richtung dahinfließt.

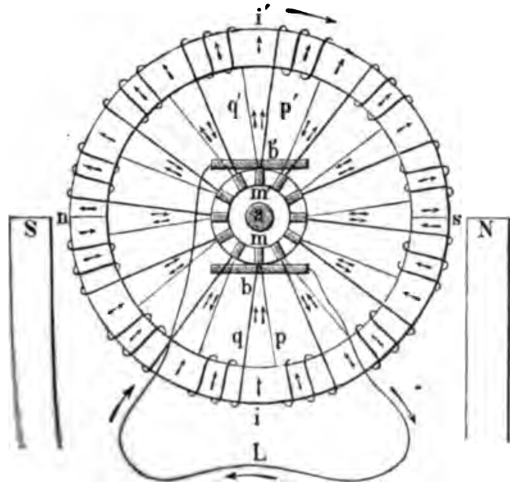
Erst in neuerer Zeit ist es gelungen, dynamoelektrische Maschinen herzustellen, welche kontinuierliche Ströme von gleichbleibender Richtung ohne Anwendung eines Kommutators zu entwickeln vermögen. Die erste und wichtigste Form dieser neueren Dynamomaschine ist die Grammesche Ringmaschine, deren Induktor von einem mit zahlreichen Drahtrollen umgebenen Ringe aus weichem Eisen gebildet wird, welcher zwischen den Polen eines Magnets in Rotation versetzt werden kann.

Ehe wir auf die Einrichtung dieser Maschine näher eingehen, untersuchen wir zunächst, was für Ströme in einem geschlossenen Leiter, etwa einem Ringe aus Kupferdraht, entstehen, wenn derselbe über einen Magnetstab NS (Fig. 203) fortgeschoben wird. Um den Stab fließen die Ampèreschen Ströme in dem durch die Pfeile angedeuteten Sinne. Bewegt sich nun der vor dem Südpol in a befindliche Ring auf diesen zu nach b, so wird in dem Ringe, weil er sich sämtlichen Strömen des Magnets nähert, ein Strom induziert, welcher den letzteren entgegengesetzt läuft, wie der Pfeil an dem Ringe in b anzeigt. Schiebt man den Ring weiter, so nähert sich derselbe in dem Augenblicke, wo er durch die Lage c hindurchgleitet, noch sämtlichen Strömen des Magnets, welche links von c liegen, während er sich von den rechts gelegenen Strömen entfernt. Die Entfernung von den letzteren bewirkt einen Strom, welcher umgekehrt fließt, wie der durch Annäherung an die ersteren hervorgerufene. Da aber die links gelegenen Ströme in größerer Zahl vorhanden sind, so muß der Annäherungsstrom kräftiger sein als der Entfernungsstrom, der Ring mithin von einem Strome durchlaufen werden, welcher gleich dem Unterschiede der beiden ist und die Richtung des ursprünglich bei der Annäherung entstandenen hat, wie dies der kleinere Pfeil bei c angiebt. Sobald ferner der Ring in d über die Mitte des Magnets hinwandert, ist die Zahl der links gelegenen Ströme, denen er sich nähert, gleich der Zahl der rechts gelegenen, von denen er sich entfernt; Annäherungsstrom und Entfernungsstrom sind gleich stark; es kommt bei dieser Lage gar kein Induktionsstrom zustande. Beim Fortrücken durch die Lage e überwiegt die Summe der rechts gelegenen Ströme; es wird daher ein den Ampèreschen Strömen des Magnets gleichgerichteter Entfernungsstrom auftreten, welcher den in b und c entstandenen entgegengesetzt ist. Ein ebenso gerichteter, aber stärkerer Strom muß vorhanden sein, wenn der Ring über dem Nordpol in f angelangt ist, da er sich dann von sämtlichen Strömen des Magnets entfernt.



(Fig. 203.)

Achtet man nun noch darauf, daß die Anzahl derjenigen Ströme, denen sich der Ring nach dem Überschreiten des Südpoles nähert, mit dem Fortschreiten immer geringer wird, dagegen die Zahl derjenigen Ströme, von welchen sich der Ring entfernt, immer mehr anwächst, so erhält man folgendes Resultat: — Bei der Annäherung des Ringes entsteht ein den Strömen des Magnets entgegengesetzter Strom, welcher sein Maximum erreicht, wenn der Ring bei dem Pole in b ankommt, dann immer mehr abnimmt und schließlich verschwindet, wenn der Ring über der Mitte des Magnets in d angelangt ist. Beim Überschreiten der Mitte beginnt in umgekehrter Richtung ein Strom, welcher anwächst, bis der Ring sich über dem zweiten Pole des Magnets in f befindet.



(Fig. 204.)

Es möge nun zur Erklärung der Wirkungsweise der Grammeschen Ringmaschine eine schematische Zeichnung (Fig. 204) dienen. Ein um die Achse a zwischen den Magnetpolen N und S drehbarer Ring aus weichem Eisen ist von zahlreichen Drahtrollen umgeben, deren Windungen sämtlich den Eisenkern in demselben Sinne umlaufen. Die [illegible] Enden zweier aufeinander folgender Drahtrollen, z. B. p und q, sind dadurch unter [illegible] verbunden, daß jedes Paar an je einen Kupferstreifen m angelötet ist; diese Kupfer[illegible], welche die Achse des Ringes [illegible] sind von einander und von der Achse durch [illegible] getrennt. [illegible] 'n die Drahtrollen in ihrer Gesamtheit

eine zusammenhängende, geschlossene Leitung, welche den Eisenkern in allen ihren Teilen in demselben Sinne umgiebt.

Der einfacheren Vorstellung halber nehmen wir vorläufig an, daß der Eisenring unveränderlich feststeht, die Achse dagegen mit den an derselben befestigten Kupferstreifen und den durch diese verbundenen Drahtrollen drehbar ist, sodaß letztere über den Ring fortgleiten können.

Durch die beiden Magnetpole N und S wird nun an den zunächst gelegenen Stellen des Ringes ein Südpol s, beziehungsweise ein Nordpol n induziert. Der hierdurch entstandene Ringmagnet wirkt offenbar wie zwei halbkreisförmig gebogene Stabmagnete, welche an den Stellen n und s mit ihren gleichnamigen Polen aneinander stoßen und dort zwei Doppelpole bilden. Der eine dieser Stabmagnete ist die untere Hälfte, der andere die obere Hälfte des Ringes; ihre Indifferenzpunkte (§. 104) sind beziehungsweise i und i'. Nach der Ampèreschen Theorie wird dann die obere Hälfte von elektrischen Strömen umkreist, welche an der Vorderseite (dem Leser zugewandten Seite) des Ringes von innen nach außen gehen, während um die untere Hälfte Ströme in entgegengesetztem Sinne, also an der Vorderseite von außen nach innen fließen, wie dies in der Zeichnung durch kleine Pfeile angedeutet ist.

Denken wir uns nun zunächst nur eine der Drahtrollen, welche den Ring an seiner höchsten Stelle, dem Punkte i', umgeben möge, in der durch den beigesetzten Pfeil angegebenen Richtung über den Ring fortbewegt, so entfernt sich dieselbe von der Mehrzahl der Ströme in der oberen Hälfte; in der Rolle wird daher ein diesen Strömen gleichgerichteter Induktionsstrom entstehen. Gleichzeitig nähert sie sich aber den Strömen der unteren Hälfte, wodurch ein diesen entgegengesetzt gerichteter Strom erzeugt werden muß, und da die Ströme der unteren Hälfte umgekehrt wie die der oberen fließen, so hat dieser Induktionsstrom mit dem ersteren gleiche Richtung. Es verstärken sich also beide zu einem Strome, welcher an der Vorderseite der Windungen von innen nach außen, mithin durch die Drahtenden der Rolle in der durch die beigesetzten Pfeile angedeuteten Richtung läuft. Je weiter die Rolle von dem Punkte i' nach dem Doppelpole s hingeschoben wird, von um so mehr Strömen der oberen Hälfte entfernt sie sich, während sie sich den Strömen der unteren Hälfte immerfort nähert; der Induktionsstrom wird also, bis die Rolle den Pol s erreicht hat, stetig anwachsen. Sobald der Pol s überschritten wird, entfernt sich die Rolle von sämtlichen Strömen der oberen Hälfte, gleichzeitig aber auch von einer stets größer werdenden Anzahl von Strömen auf der unteren Hälfte; der Strom muß daher immer mehr abnehmen, bis die Rolle bei dem Punkte i angekommen ist. In diesem Augenblicke entfernt sich die Rolle von sämtlichen rechtsgelegenen Strömen, nähert sich sämtlichen linksgelegenen Strömen; es wird somit, da die Anzahl der Ströme auf beiden Seiten dieselbe ist, gar kein Induktionsstrom zustande kommen.

Wandert die Rolle weiter über i hinaus, so entsteht, wie eine der vorigen ähnliche Überlegung zeigt, ein Strom, welcher dem auf dem Wege von i' über s nach i entgegengesetzt gerichtet ist, daher durch die Windungen an der Vorderseite von außen nach innen, also durch die Drahtenden in der durch die beigesetzten Pfeile angegebenen Richtung verläuft. Dieser Strom wächst, bis die Rolle den Doppelpol n erreicht hat, nimmt dann ab und verschwindet schließlich, wenn die Rolle wieder in dem Punkte i' angelangt ist.

Nach dem Vorhergehenden erscheint der Ring betreffs der Induktionsströme in der Rolle durch die Indifferenzpunkte in zwei entgegengesetzte Hälften geteilt. Solange sich die Rolle über einer dieser Hälften fortbewegt, fließt durch dieselbe in unveränderter Richtung ein Strom von wechselnder Stärke; die Ströme beider Hälften aber sind entgegengesetzt gerichtet; in den Indifferenzpunkten i und i' hört der eine auf, während der andere beginnt; an den Doppelpolen s und n erreichen sie ihren größten Wert. Werden nun anstatt der einen sämtliche Rollen gleichzeitig über den Ring fortgeschoben, so laufen durch alle Rollen, welche gerade auf der rechten Hälfte des Ringes sich befinden, Ströme von derselben Richtung und von verschiedener Stärke, ebenso durch alle Rollen über der linken Hälfte unter einander gleichgerichtete, denen der rechten Hälfte entgegengesetzte Ströme von wechselnder Größe. Die Ströme der rechten Hälfte fließen dann, da die einzelnen Drahtrollen durch die erwähnten Kupferstreifen unter einander zu einer Leitung verbunden sind, sämtlich durch das gerade in dem betrachteten Augenblicke beim Punkte i gelegene Drahtende p in den Kupferstreifen m, ebenso die Ströme der linken Hälfte durch das Drahtende q in denselben Kupferstreifen m.

Wir haben bisher nur die positiven Induktionsströme betrachtet. Natürlich entstehen auch, da stets beide Arten von Elektricität auftreten, gleich viele und gleich starke negative Ströme von entgegengesetzter Richtung. Die negativen Ströme der rechten Ringhälfte fließen durch das dem Punkte i' zunächst gelegene Drahtende p' in den Kupferstreifen m' und ebenso die negativen Ströme der linken Hälfte durch das Drahtende q' in denselben Kupferstreifen m'.

Die entwickelten Induktionsströme würden sich, weil sämtliche Drahtrollen zu einer Leitung verbunden sind, in dieser selbst ausgleichen, wenn sie nicht von den Kupferstreifen m und m' abgeleitet würden. Dies geschieht durch die beiden aus metallenen Streifen gebildeten Bürsten b und b', welche an zwei den Indifferenzpunkten gegenüberliegenden Stellen der Achse über den Kupferstreifen m und m' schleifen. Werden diese Bürsten durch eine Leitung L verbunden, so ergießt sich der positive Strom von b aus durch die Leitung, während der negative Strom ihm von b' aus entgegenfließt.

Durch Drehung der Achse werden nun zwar immerfort andere Kupferstreifen mit den Bürsten in Berührung kommen, die Drahtrollen fortwährend andere Lagen erhalten; aber die in ihnen erzeugten positiven Ströme werden stets nach dem ruhenden Indifferenzpunkte i, also in den Kupferstreifen fließen, welcher gerade mit der festliegenden Bürste b in Berührung ist; die negativen Ströme dagegen nach dem Indifferenzpunkte i', also in den Kupferstreifen, über welchen die Bürste b' schleift. — Ferner laufen durch die einzelnen Rollen Ströme von verschiedener Stärke, doch ist die Summe der in die Bürsten abfließenden Ströme stets dieselbe, da in jedem Augenblick Drahtrollen in allen möglichen Lagen zu den Polen s und n vorhanden sind. Die Gesamtheit der Teilströme bildet daher bei gleichförmiger Drehung einen ununterbrochenen, konstanten Strom. Die Metallbürsten b und b' verhalten sich wie die Pole einer galvanischen Batterie.

Bislang haben wir der Einfachheit halber angenommen, daß der Eisenring selbst stillstehe. Dreht sich derselbe mit der Achse, wie dies in Wirklichkeit der Fall ist, so tritt für die bisherige Betrachtung keine wesentliche Änderung ein; denn bei der Drehung des Ringes werden zwar die in dem weichen Eisen induzierten Pole s und n ihre Lage in dem Ringe stets wechseln, indem sie immerfort den festen Polen N und S gegenüber entstehen und verschwinden, dagegen werden sie ihre Stellung im Raume den Polen N und S gegenüber beibehalten.

(Fig. 205.)

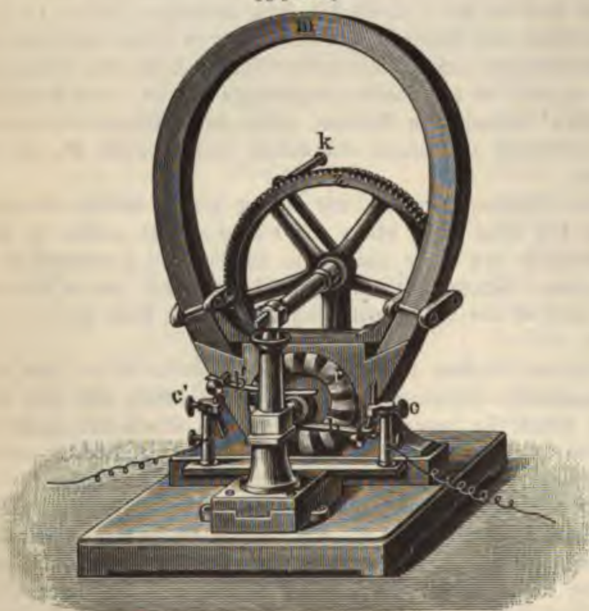


Fig. 205 zeigt eine magnetelektrische Ringmaschine für Handbetrieb. Zwischen den Polen eines kräftigen Stahlmagnets m befindet sich der drehbare Eisenring r, welcher mit eng aneinander gelagerten Drahtrollen umgeben ist. (Der Deutlichkeit halber sind dieselben abwechselnd hell und dunkel gezeichnet.) Der Ring selbst besteht aus Bündeln dicker Eisendrähte, da in diesen der Magnetismus leichter entsteht und verschwindet, als in einem massiven Eisenkerne. (§. 161). Auf der Achse sieht man vor dem Ringe die unter einander und mit der Achse durch eine isolierende Masse fest verbundenen Strahlstücke aus Kupfer, an welche die von den Rollen ausgehenden Drahtenden angelötet sind. Auf dem aus diesen Strahlstücken und der isolierenden Masse gebildeten Cylinder, dem Stromsammler, schleifen ober [illegible] beiden aus Kupferdraht bestehenden Bürsten b

und b', welche an den Messingständern c und c' befestigt sind. Von diesen aus führen Leitungsdrähte den Strom weiter. Die Drehung der Achse wird durch die Kurbel k vermittelst des Zahnrades z bewirkt.

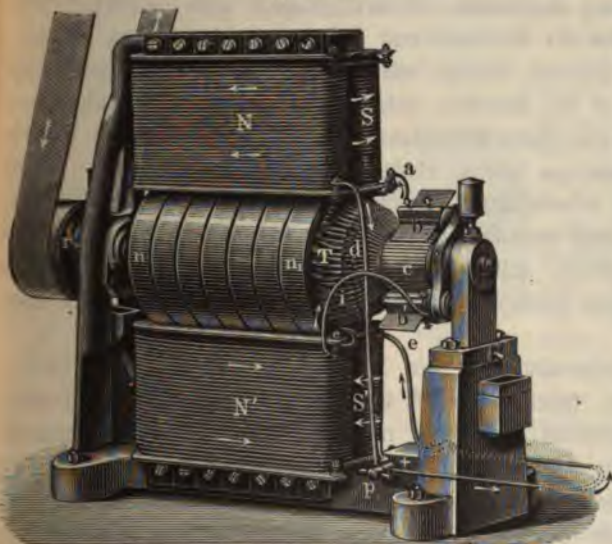
Eine zweite Hauptform der Gleichstrommaschine ohne Kommutator ist die **Trommelmaschine**. Bei dieser ist der Eisenkern des Induktors eine Trommel (Hohlcylinder) nn ss (Fig. 206), welche sich um die Achse x zwischen zwei Reihen von Magnetpolen NN und SS drehen läßt und so einen Quermagnet bildet, dessen Pole nn und ss ihre Lage bei einer Drehung unverändert beibehalten. Um die Trommel ist der Induktionsdraht der Länge nach in mehreren Abteilungen oder Lagen derartig herumgewickelt, daß die Windungen einer jeden Drahtlage an zwei gegenüberstehenden Seiten der Trommel entlang laufen. Die Enden dieser Drahtlagen führen, wie bei der Ringmaschine, zu einem auf der Achse befestigten, aus isolierten Metallstreifen gebildeten Stromsammler c; doch ist die Anordnung und Verbindung im einzelnen weit verwickelter, weshalb wir hier nicht näher darauf eingehen können. Durch diese eigentümliche Art der Verbindung wird ebenfalls erreicht, daß die Induktionsströme, welche bei einer Drehung in den verschiedenen Drahtlagen gleichzeitig entstehen, alle zugleich in den Stromsammler fließen, wo sie sich zu einem einzigen Strome vereinigen, welcher durch Bürsten weiter geführt wird.

(Fig. 206.)



Fig. 207 zeigt eine dynamoelektrische Trommelmaschine. Zwei Elektromagnete NS und N'S' stehen einander mit ihren gleichnamigen Polen gegenüber; die letzteren sind durch bogenförmige Eisenplatten verbunden. Dadurch entstehen zwei breite Polflächen, von denen die eine (die vordere nn_1) einen Nordpol, die andere (die hintere, nicht sichtbare) einen Südpol bildet. Zwischen diesen Polflächen dreht sich die Trommel T, deren Achse den Stromsammler c trägt, auf welchem die Bürsten b und b' schleifen. Zwei Klemmen, von denen in der Figur nur die vordere p sichtbar ist, dienen zur Einschaltung einer äußeren Leitung.

(Fig. 207.)



Unter Anwendung des dynamoelektrischen Principes werden die Elektromagnete durch den in der Maschine entstehenden Strom erregt. Der Lauf desselben, in der Figur durch Pfeile angedeutet, ist folgender: aus dem Induktor durch die Bürste b und den Draht a in die Windungen des Elektromagnets NS; von diesem durch den Draht d und die Klemme p in die äußere Leitung; von dort wieder zur Maschine zurück durch die hintere (nicht sichtbare) Klemme und den Draht e in den Elektromagnet N'S'; aus letzterem schließlich durch den Draht i und die Bürste b' wieder zum Induktor.

Die Drehung geschieht mit Hülfe einer Dampfmaschine, indem die Bewegung durch einen Riemen auf die Scheibe r und dadurch auf die Achse übertragen wird.

Bei großen dynamoelektrischen Trommelmaschinen nimmt der Eisenkern des Induktors gewöhnlich an der Drehung nicht teil. Der Induktionsdraht ist dann auf eine dünne Blechtrommel gewickelt, welche sich ihrerseits um den feststehenden Eisenkern dreht.

Die Trommelmaschine zeichnet sich vor der Ringmaschine dadurch aus, daß sie die magnetische Induktionskraft besser ausnutzt und infolgedessen stärkere Ströme liefert. Da nämlich die Wirkung eines Magnetpoles mit der Entfernung rasch abnimmt, so entstehen bei der Ringmaschine nur in den an der Außenseite des Ringes gelegenen Windungsteilen kräftige Induktionsströme; bei der Trommelmaschine werden dagegen die Drahtwindungen fast ihrer ganzen Ausdehnung nach einer starken Induktionswirkung ausgesetzt.

Die Ring- und Trommelmaschinen bilden die Hauptformen der dynamoelektrischen Gleichstrommaschinen ohne Kommutator. Alle derartigen Maschinen stimmen darin überein, daß sie durch Summierung zahlreicher Teilströme von verschiedener Stärke einen konstanten Gesamtstrom erzeugen; doch können sie sich im einzelnen durch die Art der Drahtwickelung und die Einrichtung des Induktors unterscheiden.

Mit Hülfe der dynamoelektrischen Maschinen ist es möglich, mechanische Arbeit, welche von einer Dampf- oder Gaskraftmaschine, einem Wasserrade oder einem anderen Motor geleistet wird, in unbegrenzter Menge in Elektricität zu verwandeln, welche man durch eine Leitung weiter fortführen kann, um sie an anderem Orte zur Beleuchtung, für galvanoplastische Arbeiten oder andere Zwecke zu verwenden.

Die erste magnetelektrische Maschine wurde 1832 von Pixii in Paris konstruiert. — Im Jahre 1867 sprach Siemens in Berlin zuerst das dynamoelektrische Princip aus. — 1871 konstruierte Gramme in Paris die erste magnetelektrische Maschine mit gleichmäßigem Strome.

§. 163. Elektrische Kraftübertragung. Zufolge §. 160, a sucht der Strom, welcher in einer elektrischen Maschine durch Drehung des Induktors induziert wird, die ihn hervorrufende Bewegung zu hindern. Dementsprechend wird umgekehrt, wenn man durch die Drahtwindungen der Maschine von außen her einen Strom hindurchführt, der Induktor in eine Drehung versetzt, welche derjenigen gerade entgegengesetzt ist, durch welche der Strom in der Maschine selbst erzeugt würde. Diese Bewegung läßt sich praktisch zum Betriebe einer Arbeitsmaschine verwenden, und es wird so die dynamoelektrische Maschine zu einem **elektromagnetischen Motor**. Dabei kann man insbesondere den erforderlichen Strom selbst vermittelst einer Dynamomaschine erregen. Zu dem Zweck verbindet man die Poldrähte einer solchen Maschine mit den Poldrähten einer zweiten. Wird dann die erste Maschine gedreht, so fließt der in dieser entstehende Strom durch die zweite und setzt deren Induktor nun ebenfalls in Bewegung.

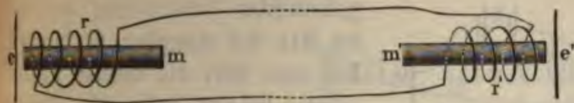
Auf die angegebene Weise ermöglicht die Dynamomaschine eine **Kraftübertragung** auf weite Strecken, indem man an einem Orte durch die Arbeit einer Dampfmaschine, eines Wasserrades oder eines anderen Motors in einer Dynamomaschine einen Strom erzeugt, welcher nach einem anderen Orte hingeleitet, daselbst eine zweite als Motor dienende Dynamomaschine treibt. Während die erste Maschine, der Stromerzeuger, mechanische Energie in elektrische umsetzt, verwandelt die zweite, der Stromempfänger, die erhaltene elektrische Energie wieder in mechanische zurück.

Die elektrische Kraftübertragung findet in neuerer Zeit immer mehr Anwendung, insbesondere bei elektrischen Anlagen und Eisenbahnen.

§. 164 (162, c). Telephon und Mikrophon. 1. Auf der Wirkung magnetelektrischer Induktionsströme beruht [illegible] on oder der Fernsprecher. Das

Princip und die Anwendung dieses Apparates erläutert die Fig. 208. Vor dem einen Pole eines Magnets m, welcher von einer Drahtrolle r umgeben ist, befindet sich eine dünne, elastische Eisenplatte e. Die Enden der Rolle sind durch Drähte mit der Rolle eines zweiten, an einem anderen Orte befindlichen Apparates von genau derselben Einrichtung (mit dem Magnete m′, der Rolle r′ und der Eisenplatte e′) in leitende Verbindung gebracht.

(Fig. 208.)



Wird nun die Eisenplatte des einen Apparates dem Magnete genähert oder von demselben entfernt, so wird infolge von Influenz in letzterem der Magnetismus entsprechend vermehrt oder vermindert. Jede Schwankung des Magnetismus in dem Magnete ruft aber in der denselben umgebenden Rolle einen Induktionsstrom hervor, welcher durch die Drahtleitung in den zweiten Apparat geführt wird, hier den Magnet umfließt und in demselben eine entsprechende Schwankung des Magnetismus bewirkt. Es wird daher auch dieser Magnet auf die ihm gegenüberstehende Eisenplatte der Schwankung des Magnetismus gemäß eine stärkere oder schwächere Anziehung ausüben. Spricht man nun gegen die erstere Platte, so gerät dieselbe durch den Anprall der Schallwellen in eine schwingende Bewegung. Infolgedessen entstehen nach dem Obigen auch in der anderen Platte Schwingungen von genau derselben Art. Es werden somit in dem zweiten Telephon diejenigen Töne wieder erzeugt, durch welche die Platte des ersten Telephons in Schwingungen versetzt worden war.

Fig. 209 stellt ein Telephon im Durchschnitt dar. Der Magnet m, welcher an dem einen Polende von der Drahtrolle r umgeben ist, befindet sich in einem Gehäuse h aus Holz oder Hartgummi. Die Enden der Drahtrolle führen zu den Klemmen k k, welche zur Verbindung mit einem zweiten Telephone dienen. Unmittelbar vor dem umwickelten Polende breitet sich die dünne Eisenplatte e aus, welche in ihrer Lage durch den auf das Gehäuse aufgeschraubten Deckel d gehalten wird. Der Deckel besitzt in seiner Mitte eine Öffnung, welche sich nach außen zum besseren Auffangen des Schalles trichterförmig erweitert. In diesen Schallbecher spricht man hinein, wenn das Telephon als Absender einer Nachricht dient, während man denselben an das Ohr hält, wenn das Telephon als Empfänger benutzt wird. — Sind zwei solche Telephone leitend verbunden, so kann man Worte, welche in das eine gesprochen, Melodieen, welche hinein gesungen oder geblasen werden, in dem anderen auch bei großer Entfernung noch deutlich verstehen.

(Fig. 209.)



Zum Anrufen einer Station, mit welcher man ein Gespräch beginnen will, ist ein besonderer Apparat erforderlich. Man kann zu dem Zwecke eine elektrische Glocke (§. 155, Anm.) benutzen, welche dann ihrerseits wieder eine galvanische Batterie erfordert. — Bei den vervollkommneten Telephonen vermag man das Zeichen zum Sprechen einfach vermittelst einer kleinen Zungenpfeife zu geben, mit welcher man kräftig in das Telephon hineinbläst. Dieser Ton wird an der Empfangsstation auch in einem größeren Raume noch deutlich wahrgenommen.

Auf die angegebene Weise kann man sich vermittelst zweier Telephone bis zu Entfernungen von etwa 100 km verständigen. — Für größere Entfernungen wird das Telephon verwendbar durch Verbindung mit dem nachstehend beschriebenen Apparate.

2) Das Mikrophon ist ein Apparat, durch welchen vermittelst eines galvanischen Stromes und eines Telephons schwache Geräusche verstärkt und auf weite Entfernung hin hörbar gemacht werden. Der Grundgedanke des Mikrophons ist folgender: — Es seien die Poldrähte einer galvanischen Kette B (Fig. 210) auf die Art mit einander verbunden, daß man über die beiden Drahtenden bei M lose ein kleines Stäbchen aus Metall oder Kohle gelegt hat. Erfährt dieses Stäbchen auf irgend eine Weise kleine Erschütterungen, so ändert sich dabei der Zusammenhang zwischen dem Stäbchen und den Poldrähten und infolgedessen der Leitungswiderstand an den Berührungsstellen, wodurch dann weiter entsprechende Änderungen in der Stärke des Stromes hervorgerufen werden. Solche Stromschwankungen bewirken aber bei einem eingeschalteten Telephon T entsprechende Schwankungen im Magnetismus und setzen dadurch die Eisenplatte des Telephons in Schwingungen. Sind nun die Erschütterungen des Stäbchens insbesondere durch Schallschwingungen verursacht, so werden diese auf die angegebene Weise in dem Telephon wieder erzeugt.

(Fig. 210.)

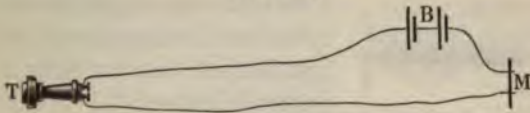
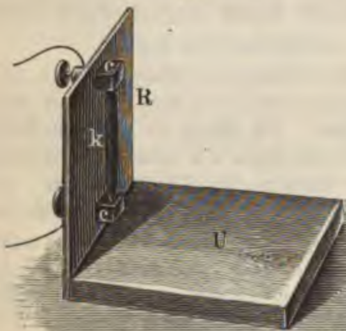


Fig. 211 zeigt ein höchst einfaches Mikrophon. Ein an beiden Enden zugespitztes Kohlenstäbchen k ist zwischen zwei gleichfalls aus Kohle bestehenden Lagern cc lose eingesetzt. Beide Lager sind an einem dünnen Brettchen R befestigt, welches auf einem hölzernen Untersatze U (einem Resonanzboden) steht. Vermittelst zweier Klemmschrauben lassen sich die Lager mit den Polen einer galvanischen Kette verbinden.

(Fig. 211.)



Schaltet man ein solches Mikrophon M (Fig. 210) gleichzeitig mit einem Telephon T in den Stromkreis einer galvanischen Kette B ein, so hört man in dem Telephon selbst bei größerer Entfernung z. B. sehr deutlich das Ticken einer auf den Untersatz gelegten Taschenuhr; desgleichen wenn mit einem feinen Pinsel lose über den Untersatz gestrichen oder wenn gegen denselben gesprochen oder gesungen wird.

Vollkommnere Mikrophone eignen sich vorzüglich für die Zwecke des Fernsprechens, indem man das Mikrophon als Absender, das Telephon als Empfänger benutzt.

Die Brauchbarkeit des Mikrophons, insbesondere für größere Entfernungen, wird dadurch noch wesentlich erhöht, daß man am Aufgabeorte eine Induktionsrolle einschaltet, welche wie bei den Induktionsapparaten (§. 161) aus einer Haupt- und einer Nebenrolle besteht. Der galvanische Strom wird dann nur durch das Mikrophon und durch die Hauptrolle geführt, während die zur zweiten Station gehende Leitung die Nebenrolle mit dem dort befindlichen Telephon verbindet. Bei dieser Anordnung findet der galvanische Strom natürlich bedeutend weniger Widerstand; infolgedessen werden schon kleine Änderungen im Widerstande verhältnismäßig bedeutende Schwankungen der Stromstärke bewirken; diese rufen dann aber in der Nebenrolle kräftigere Induktionsströme hervor, welche ihrerseits den größeren Widerstand einer langen Leitung besser zu überwinden vermögen. Solche Fernsprecheinrichtungen lassen sich auch noch für Strecken von mehreren Hundert Kilometern verwenden.

Das Telephon ist von dem Amerikaner Bell (1876), das Mikrophon von dem Amerikaner Hughes (1878) erfunden.

Dritte Abteilung.

Schall, Licht und Wärme.

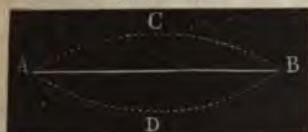
Achter Abschnitt.

Vom Schalle.

§. 165. **Schwingende Bewegung schallender Körper.** Der Schall entsteht durch die Erzitterungen oder Schwingungen elastischer Körper. An einer tönenden Saite oder Glocke vermögen wir die schwingende Bewegung der einzelnen Teile unmittelbar mit den Augen wahrzunehmen.

Als Beispiel, an welchem wir diese Bewegung näher erörtern wollen, möge eine gespannte Saite AB (Fig. 212) dienen. Sich selbst überlassen, nimmt dieselbe die Lage einer geraden Linie an. Bringen wir die Saite aus dieser Lage, z. B. durch einen Zug mit der Hand, in eine gekrümmte Lage ACB, so strebt sie vermöge ihrer Elasticität in die geradlinige Lage zurückzukehren, und zwar mit um so größerer Kraft, je mehr die krumme Linie ACB von der geraden Linie AB abweicht. Die Saite kehrt, sowie wir sie los lassen, aus der gekrümmten Lage ACB in die geradlinige Lage AB zurück; und sie bewegt sich hierbei mit wachsender Geschwindigkeit, weil ihre Elasticität fortwährend auf diese Bewegung beschleunigend wirkt, so daß sie in der geradlinigen Lage AB, wo diese Einwirkung aufhört, die größte Geschwindigkeit erlangt. Sie kommt daher in dieser Lage nicht zur Ruhe, sondern fährt vermöge des Trägheitsgesetzes (§. 19) fort sich zu bewegen, aber mit abnehmender Geschwindigkeit, weil jetzt die Elasticität der Saite ihrer Bewegung entgegenwirkt, weshalb sie auch diese Bewegung nur bis zu einer gewissen äußersten Lage ADB fortsetzt und dann in die entgegengesetzte Bewegung übergeht. Denken wir uns die Saite vollkommen elastisch und sehen wir überdies von allen Hindernissen der Bewegung ab, so muß die äußerste Lage ADB, welche die Saite erreicht, von der geradlinigen Lage AB genau ebensoviel abweichen als die Lage ACB, um welche dieselbe ursprünglich von der geraden Linie AB entfernt worden ist, wie daraus hervorgeht, daß während der zweiten Hälfte der besprochenen Bewegung die Geschwindigkeit der Saite durch die Gegenwirkung der Elasticität ganz ebenso vermindert wird, als sie vorher durch dieselbe beschleunigt worden war. — Aus der Lage ADB kehrt die Saite dann auf ganz gleiche Weise in die Lage ACB zurück, und sie würde so ohne Aufhören immer genau gleiche Schwingungen machen müssen,

(Fig. 212.)



wenn, wie gesagt, ihrer Bewegung keine Hindernisse entgegenständen und sie vollkommen elastisch wäre. Weil aber in der Wirklichkeit diese Bedingungen nie vollständig erfüllt sind, so werden bei einer jeden Saite die aufeinander folgenden Schwingungen immer kleiner, bis dieselbe endlich ganz zur Ruhe kommt.

Ein Hin- und Hergang der Saite aus der Lage ACB in die Lage ADB und wieder zurück in die Lage ACB wird eine Schwingung genannt. Man würde dies beim Pendel (§. 40, a) eine Doppelschwingung nennen.

Überhaupt ergiebt sich aus der obigen Darstellung, daß die schwingende Bewegung einer Saite die größte Ähnlichkeit mit der eines Pendels hat. Sie stimmt mit diesem besonders auch noch in dem Umstande überein, daß bei der nämlichen Saite die Dauer einer Schwingung von der Größe derselben unabhängig ist. Der empirische Beweis für die Richtigkeit dieser Behauptung geht aus folgender Erfahrung hervor: Wenn wir eine Saite auf einem Klavier oder Flügel anschlagen, so tönt dieselbe einige Zeit fort; dieser Ton wird allmählich schwächer und verschwindet zuletzt für unsere Wahrnehmung, indem die Schwingungen der Saite immer kleiner werden. Die Höhe oder Tiefe dieses Tones dagegen bleibt, wie lange derselbe auch anhalten mag, unverändert die nämliche. Da nun, wie wir sogleich sehen werden, die Höhe eines Tones allein von der Zahl der in einer Sekunde vollendeten Schwingungen abhängt, so folgt hieraus, daß die Saite während der ganzen Dauer ihres Tönens immer gleich viel Schwingungen, also in der letzten Sekunde ebensoviel kleinere als in der ersten größere Schwingungen macht.

Wie die Schwingungen einer tönenden Saite sich der Luft oder andern mit derselben in Berührung stehenden Körpern mitteilen und nach unserm Ohre fortgepflanzt werden, davon wird weiter unten (§. 175) die Rede sein.

Das im vorhergehenden über die Schwingungen einer elastischen Saite Gesagte gilt im wesentlichen auch von den Schwingungen aller anderen einen Schall erzeugenden Körper.

In Hinsicht der Schwingungen, durch welche ein Schall erzeugt wird, unterscheidet man hauptsächlich zwei Arten:

a) transversale, deren Richtung auf der Hauptausdehnung des schallenden Körpers senkrecht ist, wohin z. B. die oben besprochenen Schwingungen einer Saite gehören;

b) longitudinale, welche in der Richtung der Hauptdimension des schallenden Körpers erfolgen, wie dies z. B. bei der Luft in den Blasinstrumenten der Fall ist. Daß die Luft der eigentlich schallende Körper in den Blasinstrumenten ist, werden wir weiter unten (§. 170) ausführlicher zeigen.

Eine Saite kann nicht bloß transversale, sondern auch longitudinale Schwingungen machen. Man erregt diese bei einer Saite auf der Geige, wenn man dieselbe mit dem Bogen unter einem sehr spitzen Winkel streicht, wodurch ein hoher, unreiner Ton entsteht. Elastische Stäbe können sowohl in transversale als auch in longitudinale Schwingungen versetzt werden. Man erregt die letzteren, wenn man den Stab in der Richtung seiner Länge mit einem Lappen reibt, welchen man mit pulverisiertem Bimsstein bestreut hat. Endlich kann man bei einem runden Stabe auch noch eine dritte Art von Schwingungen, nämlich drehende, erzeugen, indem man den Stab mit einem solchen Lappen in einer auf seiner Länge senkrechten Richtung reibt.

Die Schwingungen einer tönenden Stimmgabel lassen sich auf die folgende Weise deutlich
erkbar machen:

Hält man an die eine Zinke der Gabel ein kleines mittelst eines Fadens aufgehängtes Kork-
elchen, so wird das letztere wiederholt lebhaft abgestoßen. — Befestigt man an das Ende einer Zinke einen feinen Metallstift (Fig. 213) und führt man die Stimmgabel, wie dies die Figur deutlicher zeigt, beim Tönen so über eine mit Ruß bedeckte Glastafel, daß der Stift die Tafel eben berührt, so zeichnet derselbe die Schwingungen in einer regelmäßig gestalteten Wellenlinie auf der Tafel ab.

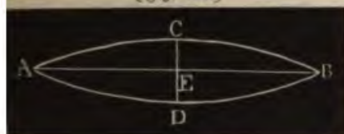
(Fig. 213.)



Daß die Dauer der Schwingungen bei einem tönenden Körper von der Schwingungsweite unabhängig ist, ergiebt sich auf theoretischem Wege durch die folgende Betrachtung, bei welcher wir oben als bestimmtes Beispiel eine gespannte Saite wählen.

Wenn man eine gespannte Saite AB, Fig. 214, in der Mitte E mit einem Gewichte belastet, so
ie Weite DE, um welche dieselbe hierdurch von der geraden Linie AB entfernt wird, innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität (§. 12) der Größe des Gewichtes proportional; umgekehrt ist daher auch die Kraft, mit welcher die Saite, wenn sie durch irgend eine Ursache in die Lage ADB geführt worden ist, in die Lage AEB zurückzukehren strebt, der Weite DE proportional. Kehrt die sich selbst überlassene Saite wirklich aus der Lage ADB in die Lage AEB zurück, so nimmt die
ft, welche die Saite während dieser Bewegung in die Lage AEB treibt, in dem nämlichen Ver-
tnisse ab, in welchem sich der Punkt D dem Punkte E nähert. Es muß also, da hier die bewegende
aft in demselben Verhältnis sich vermindert, in welchem sich der bewegte Körper einem bestimmten
inkte seiner Bahn nähert, zufolge §. 40, a, Anm., die Dauer der Schwingungen von der Weite
selben unabhängig sein.

(Fig. 214.)



§. 166. Schwingungszahlen der Töne. Wenn ein Schall eine nicht allzu-
rze Dauer hat und wir denselben als etwas Gleichartiges empfinden, so nennen
ir ihn **Klang** oder **Ton**, das letztere besonders dann, wenn wir die Höhe oder
iefe berücksichtigen. Geht einem Schall dieses Gleichartige ab, so nennen wir
nselben **Geräusch**. Ein Ton entsteht durch regelmäßige, ein Geräusch durch
regelmäßige Schwingungen eines schallenden Körpers.

Haben die Schwingungen eine sehr kurze Dauer, hören sie gleich nach ihrem
tstehen wieder auf, so vernehmen wir keinen eigentlichen Ton, sondern einen Knall,
e z. B. beim Schlagen eines Hammers gegen einen harten Körper, beim Durch-
neiden der Luft mit einer Peitschenschnur u. dgl. Stoßen die Zähne eines Rades
gen einen elastischen Stab, so vernehmen wir bei langsamer Umdrehung des Rades
en Stoß einzeln. Wird aber das Rad so rasch gedreht, daß wir die einzelnen
öße nicht mehr zu unterscheiden vermögen, so entsteht die Empfindung eines Tones.
eser ist um so höher, je rascher das Rad gedreht wird.

Überhaupt hängt die Höhe oder Tiefe des Tones von der Geschwindigkeit ab,
t welcher ein schallender Körper schwingt, oder von der Anzahl der Schwingungen,
lche er in jeder Sekunde vollendet. **Ein Ton ist um so höher, je größer
e Schwingungszahl ist.**

Zur Bestimmung der Schwingungszahl eines Tones dient ein Apparat, welcher den Namen Sirene führt. Diese besteht nach der einfachsten Einrichtung aus einer um eine senkrechte Achse drehbaren Scheibe (Fig. 215), welche am Rande mit zahlreichen Einschnitten versehen ist. Unter der Scheibe befindet sich in der Nähe des gezähnten Rades eine Röhre, in deren oberem, dicht an den gezähnten Rand der drehbaren Scheibe anschließenden Boden eine längliche Öffnung angebracht ist, welche bei der Umdrehung der Scheibe abwechselnd geöffnet und geschlossen wird, je nachdem eine Lücke oder ein Zahn über dieselbe hinweggeht. Wenn man nun durch die Röhre einen Luftstrom hindurchgehen läßt, so übt dieser jedesmal, wenn eine Lücke über der Öffnung vorbeigeht, einen Stoß auf die über der Scheibe befindliche Luft aus. Wird die Scheibe nicht zu langsam gedreht, so vernimmt man infolge hiervon einen Ton, der um so höher ausfällt, je rascher man dreht. Aus der Zahl der Einschnitte und der Zahl der Umläufe, welche die Scheibe in der Sekunde macht, läßt sich die dem erzeugten Tone entsprechende Schwingungszahl berechnen.

(Fig. 215.)



Man hat auf diese Art gefunden, daß dem Tone a der gewöhnlichen Stimmgabeln (ungefähr) 440 Schwingungen in der Sekunde zukommen.

Unter den in der Musik gebräuchlichen Tönen macht der tiefste, welchen eine oben geschlossene Orgelpfeife von 16 Par. Fuß (5,2 m) Länge giebt, (etwa) 16 Schwingungen, der höchste, welcher auf kleinen Flöten hervorgebracht wird, (beinahe) 5000 Schwingungen.

Die Schwingungszahlen der überhaupt wahrnehmbaren Töne liegen ungefähr zwischen den Grenzen 14 und 40 000. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß diese Zahlen nur als ungefähre Abschätzungen anzusehen sind, da dieselben teils durch die Empfindlichkeit des Ohres, teils durch die Stärke des erregten Tones (s. §. 179) bedingt werden.

Die Schwingungszahl eines Tones läßt sich auch mit Hülfe eines gezähnten Rades bestimmen, welches an seinem Umfange eine große Anzahl gleicher Zähne trägt, die bei der Umdrehung gegen die Kante eines elastischen Blättchens stoßen und dasselbe in Schwingungen versetzen. Die Zahl der Zähne multipliziert mit der Zahl der Umdrehungen, welche das Rad in der Sekunde macht, giebt die Zahl der Schwingungen des elastischen Blättchens. — Man hat hierbei sowie auch bei Vergleichung der Angaben der Sirene mit der Zahl der Schwingungen der Luft, einer Saite, eines Stabes, überhaupt eines elastischen Körpers nicht außer acht zu lassen, daß auf je einen Zahn ein Hin- und Hergang (eine Doppelschwingung) des elastischen Körpers kommt.

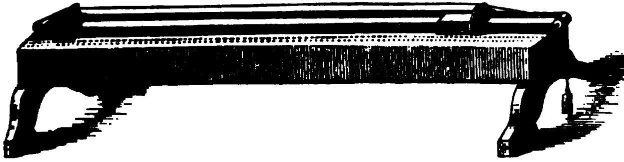
Über ein anderes, sehr genaues Verfahren zur Bestimmung der Schwingungszahlen der Töne [illegible] §. 182.

§. 167. Tonverhältnisse. Wenn man eine Saite auf die Hälfte oder den [illegible] vierten Teil verkürzt, ohne ihre Spannung zu verändern, so macht [illegible] in der Sekunde zwei, drei-, viermal soviel Schwingungen, als wenn sie in [illegible] Länge schwingt. Überhaupt nimmt bei ungeänderter Spannung die [illegible] der Schwingungen einer Saite im umgekehrten Verhältnis ihrer Länge zu. [illegible] wir den Ton, welchen die in ihrer ganzen Länge schwingende [illegible] Grundton, so wird der Ton, welchen die auf die Hälfte verkürzte [illegible] die Oktave genannt, weil zwischen demselben und dem [illegible] verwendbare Töne liegen, welche

die Namen Sekunde, Terz, Quart, Quinte, Sexte, Septime führen und, wenn wir für den Grundton C, für die Oktave c setzen, mit den Buchstaben D, E, F, G, A, H bezeichnet werden.

Um das Verhältnis der Schwingungszahlen dieser Töne zum Grundtone zu ermitteln, bedient man sich am einfachsten des Monochords. Dieses besteht aus einer über einen Resonanzboden gespannten Saite (Fig. 216), bei welcher sich durch einen beweglichen Steg die Länge des schwingenden Teiles, der sich allemal nur von dem einen Ende bis zum Stege erstreckt, beliebig verkürzen läßt. Verkürzt man diesen Teil so lange, bis etwa die Quinte zum Vorschein kommt, so findet man, daß die Länge des schwingenden Teiles $^2/_3$ von der Länge der Saite beträgt, wenn dieselbe den Grundton giebt. Da sich nun die Schwingungszahlen zweier Saiten bei ungeänderter Spannung umgekehrt wie ihre Längen verhalten, so verhält sich folglich die Schwingungszahl der Quinte zu der des Grundtones wie 3 : 2.

(Fig. 216.)



Auf ähnliche Weise lassen sich auch leicht die Verhältnisse der Schwingungszahlen der übrigen Töne der Tonleiter zu der des Grundtones ermitteln. Man erhält auf diese Art, wenn man, um Brüche zu vermeiden, für die Schwingungszahl des Grundtons 24 setzt, für die einzelnen Töne folgende Verhältniszahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
24	27	30	32	36	40	45	48

Wenn zwei Töne zugleich gehört werden, so bringen dieselben entweder eine angenehme Empfindung, welche wir Konsonanz, oder eine unangenehme Empfindung hervor, welche wir Dissonanz nennen. Zwei Töne konsonieren um so vollständiger, in je kleineren Zahlen sich das Verhältnis ihrer Schwingungszahlen ausdrücken läßt, je öfter also die Schwingungen des einen Tones mit denen des andern zusammentreffen.

Der Grundton, die Terz und die Quinte (C, E und G), deren Schwingungszahlen sich wie 4, 5 und 6 verhalten, werden in der Musik der große Dreiklang genannt. Das Verhältnis E : G = 5 : 6 heißt die kleine Terz, und zum Unterschiede hiervon wird das Verhältnis C : E = 4 : 5 die große Terz genannt.

Wenn wir in der oben mitgeteilten Tonleiter sämtliche Töne mit dem Grundtone vergleichen, indem wir diesen gleich 1 setzen, so erhalten wir folgende Verhältniszahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2

Diese Zahlen zeigen das umgekehrte Verhältnis der Länge einer Saite an, welche bei ungeänderter Spannung die angegebenen Töne erzeugt. — Dieselben können uns ferner dazu dienen, wenn von einem Tone, welchen wir als Grundton annehmen, die Schwingungszahl gegeben ist, diese Zahl für die Sekunde, Terz u. s. w. zu berechnen; wir werden nämlich nur nötig haben, die Schwingungszahl des Grundtones mit $^9/_8$, $^5/_4$ u. s. w. zu multiplizieren.

Dividieren wir in der obigen Tonleiter je zwei aufeinander folgende Glieder ineinander, so ergeben sich weiter folgende Zahlen:

C D E F G A H c

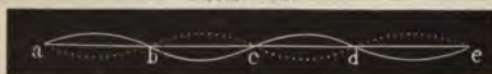
$^9/_8$ $^{10}/_9$ $^{16}/_{15}$ $^9/_8$ $^{10}/_9$ $^9/_8$ $^{16}/_{15}$

Es findet daher von einem Tone zum andern keineswegs durchgehends derselbe Fortschritt, das nämliche Intervall, sondern ein dreifach verschiedenes Verhältnis statt. Von diesen wird das größte Intervall $^{9}/_{8}$ das eines großen und das nur wenig kleinere $^{10}/_{9}$ das eines kleinen ganzen Tones, $^{16}/_{15}$ aber das eines halben Tones genannt.

Aus der Schwingungszahl eines Tones erhält man die Schwingungszahl des um einen halben Ton höheren Tones, wenn man dieselbe mit $^{16}/_{15}$ multipliziert; es entsteht dagegen die Schwingungszahl des um einen halben Ton niedrigeren Tones, wenn man durch $^{16}/_{15}$ dividiert, oder mit $^{15}/_{16}$ multipliziert; wenn man von den Schwingungszahlen zweier aufeinander folgender Töne, z. B. C und D, welche um das Intervall eines ganzen Tones voneinander abstehen, die Zahl des niedrigeren C mit $^{16}/_{15}$, des höheren mit $^{15}/_{16}$ multipliziert, so erhält man nicht genau dieselbe Zahl, sondern ein wenig voneinander abweichende Zahlen. Wiewohl nun hiernach streng genommen zwischen Cis und Des eine kleine Verschiedenheit stattfindet, so werden diese Töne doch bei unseren Klavieren, Orgeln u. s. w., überhaupt bei solchen Instrumenten, welche nur eine beschränkte Zahl von Tönen hervorzubringen vermögen, nicht voneinander unterschieden. Dasselbe gilt von den nur wenig verschiedenen Verhältnissen eines kleinen und eines großen ganzen Tones. Man sieht schon hieraus, daß die Stimmung unserer Klaviere keine vollkommen reine sein kann. Wollte man ein Klavier oder eine Orgel für eine bestimmte Tonart nach ganz reinen Verhältnissen stimmen, so würden hieraus für andere Tonarten unerträgliche Fehler hervorgehen. Man pflegt daher die Abweichung von den genauen Verhältnissen in angemessener Weise zu verteilen, eine Veränderung, welche Temperatur genannt wird.

§. 168. Schwingende Saiten. Eine Saite kann auf zweierlei Art schwingen; entweder sie schwingt als ein Ganzes in der Art, wie wir dies oben in §. 165 angegeben haben, oder sie teilt sich in aliquote Teile. Fig. 217 stellt eine in 4 gleichen Teilen schwingende Saite dar. Die Stellen b, c und d, welche die für sich schwingenden Abteilungen trennen und in Ruhe bleiben, werden Schwingungsknoten genannt. Zur Bestätigung und Veranschaulichung dieser Verhältnisse dient der folgende Versuch: Auf die Saite des Monochords (Fig. 216) setze man an verschiedenen Stellen kleine Papierstreifen in Form von Reiterchen; soll die Saite z. B. in vier Teilen schwingen, so thut man dies am schicklichsten in den Teilungspunkten c und d und dann in der Mitte zwischen b und c, c und d und d und e. Streicht man nun die Saite ungefähr in der Mitte zwischen a und b mit einem Bogen, während man die Stelle b sanft mit dem Finger berührt, so bleiben die Reiterchen in den Punkten c und d ruhen; die in der Mitte zwischen zwei Schwingungsknoten angebrachten aber werden abgeworfen.

(Fig. 217.)



Man kann die in 2, 3, 4 . . . aliquoten Teilen schwingende Saite als aus 2, 3, 4 . . . einzelnen Saiten bestehend ansehen, welche alle vier gleiche Länge haben und gleichzeitig schwingen, doch so, daß während der eine Teil ab (Fig. 217) aufwärts schwingt, der folgende bc abwärts, der dann folgende cd wieder aufwärts schwingt u. s. f.

Nennen wir den Ton, welchen die in ihrer ganzen Länge schwingende Saite giebt, den Grundton, so vernehmen wir, wenn sich die Saite in 2 gleiche Teile geteilt hat, die Oktave; denn da jeder schwingende Teil nur die halbe Länge der ganzen Saite hat, so muß sich die Schwingungszahl verdoppelt haben, also die Oktave entstehen. Aus gleichen Gründen vernimmt man, wenn sich die Saite in 3, 4, 5 . . . gleiche Teile teilt, Töne, d[illegible]ingungszahlen sich wie die Zahlen

Die Schwingungen einer tönenden Stimmgabel lassen sich auf die folgende Weise deutlich bemerkbar machen:

Hält man an die eine Zinke der Gabel ein kleines mittelst eines Fadens aufgehängtes Korkkügelchen, so wird das letztere wiederholt lebhaft abgestoßen. — Befestigt man an das Ende einer Zinke einen feinen Metallstift (Fig. 213) und führt man die Stimmgabel, wie dies die Figur deutlicher zeigt, beim Tönen so über eine mit Ruß bedeckte Glastafel, daß der Stift die Tafel eben berührt, so zeichnet derselbe die Schwingungen in einer regelmäßig gestalteten Wellenlinie auf der Tafel ab.

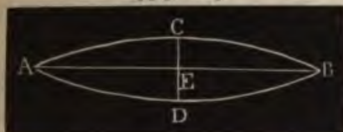
(Fig. 213.)



Daß die Dauer der Schwingungen bei einem tönenden Körper von der Schwingungsweite unabhängig ist, ergiebt sich auf theoretischem Wege durch die folgende Betrachtung, bei welcher wir wie oben als bestimmtes Beispiel eine gespannte Saite wählen.

Wenn man eine gespannte Saite AB, Fig. 214, in der Mitte E mit einem Gewichte belastet, so ist die Weite DE, um welche dieselbe hierdurch von der geraden Linie AB entfernt wird, innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität (§. 12) der Größe des Gewichtes proportional; umgekehrt ist daher auch die Kraft, mit welcher die Saite, wenn sie durch irgend eine Ursache in die Lage ADB geführt worden ist, in die Lage AEB zurückzukehren strebt, der Weite DE proportional. Kehrt die sich selbst überlassene Saite wirklich aus der Lage ADB in die Lage AEB zurück, so nimmt die Kraft, welche die Saite während dieser Bewegung in die Lage AEB treibt, in dem nämlichen Verhältnisse ab, in welchem sich der Punkt D dem Punkte E nähert. Es muß also, da hier die bewegende Kraft in demselben Verhältnis sich vermindert, in welchem sich der bewegte Körper einem bestimmten Punkte seiner Bahn nähert, zufolge §. 40, a, Anm., die Dauer der Schwingungen von der Weite derselben unabhängig sein.

(Fig. 214.)



§. 166. Schwingungszahlen der Töne. Wenn ein Schall eine nicht allzukurze Dauer hat und wir denselben als etwas Gleichartiges empfinden, so nennen wir ihn Klang oder Ton, das letztere besonders dann, wenn wir die Höhe oder Tiefe berücksichtigen. Geht einem Schall dieses Gleichartige ab, so nennen wir denselben Geräusch. Ein Ton entsteht durch regelmäßige, ein Geräusch durch unregelmäßige Schwingungen eines schallenden Körpers.

Haben die Schwingungen eine sehr kurze Dauer, hören sie gleich nach ihrem Entstehen wieder auf, so vernehmen wir keinen eigentlichen Ton, sondern einen Knall, wie z. B. beim Schlagen eines Hammers gegen einen harten Körper, beim Durchschneiden der Luft mit einer Peitschenschnur u. dgl. Stoßen die Zähne eines Rades gegen einen elastischen Stab, so vernehmen wir bei langsamer Umdrehung des Rades jeden Stoß einzeln. Wird aber das Rad so rasch gedreht, daß wir die einzelnen Stöße nicht mehr zu unterscheiden vermögen, so entsteht die Empfindung eines Tones. Dieser ist um so höher, je rascher das Rad gedreht wird.

Überhaupt hängt die Höhe oder Tiefe des Tones von der Geschwindigkeit ab, mit welcher ein schallender Körper schwingt, oder von der Anzahl der Schwingungen, welche er in jeder Sekunde vollendet. Ein Ton ist um so höher, je größer die Schwingungszahl ist.

Zur Bestimmung der Schwingungszahl eines Tones dient ein Apparat, welcher den Namen **Sirene** führt. Diese besteht nach der einfachsten Einrichtung aus einer um eine senkrechte Achse drehbaren Scheibe (Fig. 215), welche am Rande mit zahlreichen Einschnitten versehen ist. Unter der Scheibe befindet sich in der Nähe des gezähnten Rades eine Röhre, in deren oberem, dicht an den gezähnten Rand der drehbaren Scheibe anschließenden Boden eine längliche Öffnung angebracht ist, welche bei der Umdrehung der Scheibe abwechselnd geöffnet und geschlossen wird, je nachdem eine Lücke oder ein Zahn über dieselbe hinweggeht. Wenn man nun durch die Röhre einen Luftstrom hindurchgehen läßt, so übt dieser jedesmal, wenn eine Lücke über der Öffnung vorbeigeht, einen Stoß auf die über der Scheibe befindliche Luft aus. Wird die Scheibe nicht zu langsam gedreht, so vernimmt man infolge hiervon einen Ton, der um so höher ausfällt, je rascher man dreht. Aus der Zahl der Einschnitte und der Zahl der Umläufe, welche die Scheibe in der Sekunde macht, läßt sich die dem erzeugten Tone entsprechende Schwingungszahl berechnen.

(Fig. 215.)



Man hat auf diese Art gefunden, daß dem Tone a der gewöhnlichen Stimmgabeln (ungefähr) 440 Schwingungen in der Sekunde zukommen.

Unter den in der Musik gebräuchlichen Tönen macht der tiefste, welchen eine oben geschlossene Orgelpfeife von 16 Par. Fuß (5,2 m) Länge giebt, (etwa) 16 Schwingungen, der höchste, welcher auf kleinen Flöten hervorgebracht wird, (beinahe) 5000 Schwingungen.

Die Schwingungszahlen der überhaupt wahrnehmbaren Töne liegen ungefähr zwischen den Grenzen 14 und 40 000. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß diese Zahlen nur als ungefähre Abschätzungen anzusehen sind, da dieselben teils durch die Empfindlichkeit des Ohres, teils durch die Stärke des erregten Tones (s. §. 179) bedingt werden.

Die Schwingungszahl eines Tones läßt sich auch mit Hülfe eines gezähnten Rades bestimmen, welches an seinem Umfange eine große Anzahl gleicher Zähne trägt, die bei der Umdrehung gegen die Kante eines elastischen Blättchens stoßen und dasselbe in Schwingungen versetzen. Die Zahl der Zähne multipliziert mit der Zahl der Umdrehungen, welche das Rad in der Sekunde macht, giebt die Zahl der Schwingungen des elastischen Blättchens. — Man hat hierbei sowie auch bei Vergleichung der Angaben der Sirene mit der Zahl der Schwingungen der Luft, einer Saite, eines Stabes, überhaupt eines elastischen Körpers nicht außer acht zu lassen, daß auf je einen Zahn ein Hin- und Hergang (eine Doppelschwingung) des elastischen Körpers kommt.

Über ein anderes, sehr genaues Verfahren zur Bestimmung der Schwingungszahlen der Töne siehe §. 182.

§. 167. Tonverhältnisse. Wenn man eine Saite auf die Hälfte oder den dritten oder vierten Teil verkürzt, ohne ihre Spannung zu verändern, so macht dieselbe in der Sekunde zwei-, drei-, viermal soviel Schwingungen, als wenn sie in ihrer ganzen Länge schwingt. Überhaupt nimmt bei ungeänderter Spannung **die Zahl der Schwingungen einer Saite im umgekehrten Verhältnis ihrer Länge zu.** Nennen wir den Ton, welchen die in ihrer ganzen Länge schwingende Saite giebt, den **Grundton**, so wird der Ton, welchen die auf die Hälfte verkürzte Saite giebt, in der Musik die **Oktave** g[...] wischen demselben und dem Grundtone noch sechs für die Musik v[...] bare Töne liegen, welche

die Namen Sekunde, Terz, Quart, Quinte, Sexte, Septime führen und, wenn wir für den Grundton C, für die Oktave c setzen, mit den Buchstaben D, E, F, G, A, H bezeichnet werden.

Um das Verhältnis der Schwingungszahlen dieser Töne zum Grundtone zu ermitteln, bedient man sich am einfachsten des Monochords. Dieses besteht aus einer über einen Resonanzboden gespannten Saite (Fig. 216), bei welcher sich durch einen beweglichen Steg die Länge des schwingenden Teiles, der sich allemal nur von dem einen Ende bis zum Stege erstreckt, beliebig verkürzen läßt. Verkürzt man diesen Teil so lange, bis etwa die Quinte zum Vorschein kommt, so findet man, daß die Länge des schwingenden Teiles $^2/_3$ von der Länge der Saite beträgt, wenn dieselbe den Grundton giebt. Da sich nun die Schwingungszahlen zweier Saiten bei ungeänderter Spannung umgekehrt wie ihre Längen verhalten, so verhält sich folglich die Schwingungszahl der Quinte zu der des Grundtones wie 3 : 2.

(Fig. 216.)



Auf ähnliche Weise lassen sich auch leicht die Verhältnisse der Schwingungszahlen der übrigen Töne der Tonleiter zu der des Grundtones ermitteln. Man erhält auf diese Art, wenn man, um Brüche zu vermeiden, für die Schwingungszahl des Grundtons 24 setzt, für die einzelnen Töne folgende Verhältniszahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
24	27	30	32	36	40	45	48

Wenn zwei Töne zugleich gehört werden, so bringen dieselben entweder eine angenehme Empfindung, welche wir Konsonanz, oder eine unangenehme Empfindung hervor, welche wir Dissonanz nennen. **Zwei Töne konsonieren um so vollständiger, in je kleineren Zahlen sich das Verhältnis ihrer Schwingungszahlen ausdrücken läßt, je öfter also die Schwingungen des einen Tones mit denen des andern zusammentreffen.**

Der Grundton, die Terz und die Quinte (C, E und G), deren Schwingungszahlen sich wie 4, 5 und 6 verhalten, werden in der Musik der große Dreiklang genannt. Das Verhältnis E : G = 5 : 6 heißt die kleine Terz, und zum Unterschiede hiervon wird das Verhältnis C : E = 4 : 5 die große Terz genannt.

Wenn wir in der oben mitgeteilten Tonleiter sämtliche Töne mit dem Grundtone vergleichen, indem wir diesen gleich 1 setzen, so erhalten wir folgende Verhältniszahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2

Diese Zahlen zeigen das umgekehrte Verhältnis der Länge einer Saite an, welche bei ungeänderter Spannung die angegebenen Töne erzeugt. — Dieselben können uns ferner dazu dienen, wenn von einem Tone, welchen wir als Grundton annehmen, die Schwingungszahl gegeben ist, diese Zahl für die Sekunde, Terz u. s. w. zu berechnen; wir werden nämlich nur nötig haben, die Schwingungszahl des Grundtones mit $^9/_8$, $^5/_4$ u. s. w. zu multiplizieren.

Dividieren wir in der obigen Tonleiter je zwei aufeinander folgende Glieder ineinander, so ergeben sich weiter folgende Zahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
$^9/_8$	$^{10}/_9$	$^{16}/_{15}$	$^9/_8$	$^{10}/_9$	$^9/_8$	$^{16}/_{15}$	

Es findet daher von einem Tone zum andern keineswegs durchgehends derselbe Fortschritt, das nämliche Intervall, sondern ein dreifach verschiedenes Verhältnis statt. Von diesen wird das größte Intervall $^9/_8$ das eines großen und das nur wenig kleinere $^{10}/_9$ das eines kleinen ganzen Tones, $^{16}/_{15}$ aber das eines halben Tones genannt.

Aus der Schwingungszahl eines Tones erhält man die Schwingungszahl des um einen halben Ton höheren Tones, wenn man dieselbe mit $^{16}/_{15}$ multipliziert; es entsteht dagegen die Schwingungszahl des um einen halben Ton niedrigeren Tones, wenn man durch $^{16}/_{15}$ dividiert, oder mit $^{15}/_{16}$ multipliziert; wenn man von den Schwingungszahlen zweier aufeinander folgender Töne, z. B. C und D, welche um das Intervall eines ganzen Tones voneinander abstehen, die Zahl des niedrigeren C mit $^{16}/_{15}$, des höheren mit $^{15}/_{16}$ multipliziert, so erhält man nicht genau dieselbe Zahl, sondern ein wenig voneinander abweichende Zahlen. Wiewohl nun hiernach streng genommen zwischen Cis und Des eine kleine Verschiedenheit stattfindet, so werden diese Töne doch bei unseren Klavieren, Orgeln u. s. w., überhaupt bei solchen Instrumenten, welche nur eine beschränkte Zahl von Tönen hervorzubringen vermögen, nicht voneinander unterschieden. Dasselbe gilt von den nur wenig verschiedenen Verhältnissen eines kleinen und eines großen ganzen Tones. Man sieht schon hieraus, daß die Stimmung unserer Klaviere keine vollkommen reine sein kann. Wollte man ein Klavier oder eine Orgel für eine bestimmte Tonart nach ganz reinen Verhältnissen stimmen, so würden hieraus für andere Tonarten unerträgliche Fehler hervorgehen. Man pflegt daher die Abweichung von den genauen Verhältnissen in angemessener Weise zu verteilen, eine Veränderung, welche **Temperatur** genannt wird.

§. 168. Schwingende Saiten. Eine Saite kann auf zweierlei Art schwingen; entweder sie schwingt als ein Ganzes in der Art, wie wir dies oben in §. 165 angegeben haben, oder sie teilt sich in aliquote Teile. Fig. 217 stellt eine in 4 gleichen Teilen schwingende Saite dar. Die Stellen b, c und d, welche die für sich schwingenden Abteilungen trennen und in Ruhe bleiben, werden **Schwingungsknoten** genannt. Zur Bestätigung und Veranschaulichung dieser Verhältnisse dient der folgende Versuch: Auf die Saite des Monochords (Fig. 216) setze man an verschiedenen Stellen kleine Papierstreifen in Form von Reiterchen; soll die Saite z. B. in vier Teilen schwingen, so thut man dies am schicklichsten in den Teilungspunkten c und d und dann in der Mitte zwischen b und c, c und d und d und e. Streicht man nun die Saite ungefähr in der Mitte zwischen a und b mit einem Bogen, während man die Stelle b leicht mit dem Finger berührt, so [illegible] in den Punkten c und d [illegible] die in der Mitte zwischen zwei [illegible]

(Fig. 217.)

[illegible] Teilen [illegible] Saite [illegible] aus [illegible] gleiche Länge haben [illegible] Fig. 217 [illegible] Wirkung z. B. [illegible]

[illegible] gleiche Teile [illegible] die halbe Länge der [illegible] Schwingungszahl [illegible] [illegible]

3, 4, 5 . . . verhalten, (nämlich die Quinte der Oktave, die doppelte Oktave, die Terz der doppelten Oktave u. s. w.).

Auf dem Angeführten beruhen die sogenannten Flageolet-Töne der Guitarre und anderer Saiten-Instrumente, sowie auch die Einrichtung der Äols-Harfe. Diese besteht aus einem Resonanzboden, über welchen man mehrere Saiten gespannt hat, die sämtlich eine gleiche Stimmung haben. Stellt man nun die Äols-Harfe in den Luftzug, z. B. in ein Fenster, welches man etwas geöffnet hat, so werden die Saiten durch den Luftzug in Schwingungen versetzt und teilen sich zugleich in aliquote Teile, wodurch infolge der gleichen Stimmung sehr schöne und reine Accorde entstehen. — Auf gleichem Grunde beruhen die durch den Wind erzeugten Töne der Leitungsdrähte der Eisenbahnen.

Ein geübtes Ohr vernimmt bei tönenden Saiten nicht bloß einen, sondern mehrere Töne zugleich; es muß daher die Saite mehrere Schwingungsarten machen, zugleich als ein Ganzes, in Hälften, Dritteln, Vierteln u. dgl. schwingen. Der unter diesen Tönen am stärksten hervortretende ist gewöhnlich der tiefste von allen und wird der Grundton, die anderen werden Nebentöne und, wenn sie höher sind als der Grundton, auch Obertöne genannt. — Dasselbe, was wir hier von den Saiten ausgesagt haben, gilt auch von allen anderen tönenden Körpern.

Die Höhe des Tones, welchen eine Saite giebt, wenn sie als ein Ganzes schwingt, hängt nicht nur von der Länge der Saite ab, sondern auch von der Spannung, der Dicke und der Dichtigkeit (dem specifischen Gewichte) des Stoffes, aus welcher die Saite besteht. Bei der nämlichen Saite wächst die Tonhöhe, wenn man ihre Spannung vergrößert. Von zwei gleich langen und gleich stark gespannten Saiten, welche aus demselben Stoffe bestehen, giebt die dickere den tieferen Ton. Wenn zwei Saiten aus verschiedenen Stoffen bestehen, z. B. eine Darmsaite und eine Messingsaite, und eine gleiche Länge, gleiche Dicke und gleiche Spannung haben, so giebt die Messingsaite als die dichtere den tieferen Ton.

Genauer lautet das Gesetz über schwingende Saiten folgendermaßen: Die Tonhöhen oder Schwingungszahlen zweier Saiten verhalten sich direkt wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften und umgekehrt wie die Längen, die Durchmesser und die Quadratwurzeln der specifischen Gewichte der Saiten.

§. 169. Schwingende Scheiben. Wir haben im vorhergehenden Paragraphen gesehen, daß eine Saite als ein Ganzes und in aliquoten Teilen schwingen kann. Dies letztere ist bei schwingenden Scheiben immer der Fall; die ruhenden Stellen, durch welche die nach entgegengesetzten Richtungen schwingenden Teile voneinander getrennt werden, bilden zusammenhängende Linien, welche man Knotenlinien nennt. Bestreut man eine gläserne Scheibe mit feinem Sande, hält dieselbe in der Mitte oder an einer andern Stelle in einiger Entfernung vom Rande fest und streicht sie dann irgendwo am Rande mit einem Violinbogen, so wird der Sand von den schwingenden Stellen weggeworfen und sammelt sich an den ruhenden an, wodurch eine regelmäßige Figur entsteht. Man nennt dergleichen Figuren, von denen

Fig. 218 einige Beispiele liefert, **Chladnis Klangfiguren**, da **Chladni** dieselben zuerst (1787) hergestellt hat. Jeder Figur entspricht bei derselben Scheibe auch ein

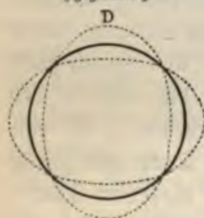
(Fig. 218.)



bestimmter Ton; die Figur ist im allgemeinen um so einfacher, je tiefer, und um so verwickelter, je höher der Ton ist.

Auch gekrümmte Scheiben, **Glocken**, schwingen niemals als ein Ganzes, sondern teilen sich in aliquote Teile. Wird eine Glocke irgendwo am Umfange angeschlagen oder mit einem Bogen gestrichen, so teilt sie sich in vier Teile, welche durch zwei sich am Knopfe der Glocke kreuzende Knotenlinien getrennt werden. Die schwingenden Teile bewegen sich in der Weise, daß in abwechselnder Folge zwei gegenüber liegende Teile gleichzeitig nach außen, die beiden anderen aber nach innen schwingen, wie dies Fig. 219 zu erkennen giebt. Man kann diese Verhältnisse leicht sichtbar machen, wenn man die Glocke bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser füllt. Die wellenförmige Bewegung, in welche dieses während des Tönens der Glocke gerät, giebt die Lage der schwingenden und ruhenden Teile an.

(Fig. 219.)



Die Glocke kann auch in mehr als vier Teilen schwingen; man bewirkt dieses leicht, wenn man dieselbe an zwei Stellen in passenden Abständen von einander sanft mit den Fingern berührt und dann in der Mitte zwischen beiden berührten Stellen mit dem Bogen streicht. Der Ton ist bei der nämlichen Glocke natürlich um so höher, in je mehr Teile sich dieselbe teilt.

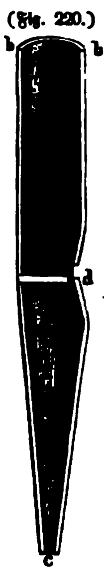
§. 170. Tönende Schwingungen der Luft. Da die Luft in hohem Grade elastisch ist, so muß sie auch vorzüglich geeignet sein, durch regelmäßige Schwingungen Töne zu erzeugen. Die Luft ist der tönende Körper in unseren Blasinstrumenten. Es geht dies schon daraus hervor, daß der Ton einer Pfeife sich nicht ändert, wenn man die Wände derselben anfaßt, und daß diese Wände selbst häufig aus einem unelastischen Material, wie z. B. Blei, bestehen, — ferner ganz besonders daraus, daß die Höhe und Tiefe des Tones lediglich durch die Dimensionen der eingeschlossenen Luftsäule bedingt wird, dagegen von der Beschaffenheit des Materials der dieselbe einschließenden Wände der Pfeife unabhängig ist. Andererseits wird aber das Eigentümliche des Klanges, die sogenannte Klangfarbe, durch die verschiedene Beschaffenheit des Materials der Pf[illegible] beeinflußt, was auf der Art und

Weise beruht, in welcher sich die Wände der Pfeife an den Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule beteiligen (s. §. 174).

Die tönenden Schwingungen der Luft in den Blasinstrumenten sind **Longitudinalschwingungen** und bestehen in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, wie wir sogleich ausführlicher zeigen werden. Sie können durch sehr verschiedene Mittel hervorgerufen werden, von denen wir uns auf die Anführung der beiden folgenden beschränken: erstens durch das Einblasen eines schmalen Luftstromes, was bei den **Lippenpfeifen** der Fall ist, zweitens durch die schwingende Bewegung eines elastischen Blättchens, welches durch einen eingeblasenen Luftstrom in Schwingungen versetzt wird und seine schwingende Bewegung der in der Pfeife eingeschlossenen Luftsäule mitteilt, wie dies in den **Zungenpfeifen** geschieht.

§. 171. Lippenpfeifen. Wir fassen unter diesem Namen alle diejenigen Pfeifen zusammen, bei welchen die schwingende Bewegung der eingeschlossenen Luftsäule durch das Einströmen eines schmalen Luftstromes hervorgebracht wird. Dieses ist z. B. der Fall, wenn wir auf einem hohlen Schlüssel blasen, ferner bei hölzernen Pfeifen, welche den Kindern zum Spielwerke dienen, oder bei den Pfeifen, welche sich dieselben aus der Rinde junger Weidenzweige verfertigen, ferner bei den Flöten, bei den Orgelpfeifen, welche man Flötenwerke nennt, u. dgl. m. — Fig. 220, welche einen Längsdurchschnitt einer Orgelpfeife zeigt, kann dazu dienen, eine ungefähre Vorstellung von der Einrichtung derselben zu geben. Die bei c eingeblasene Luft trifft bei a gegen eine die Pfeife fast ganz verschließende Platte und entweicht zum Teil durch die Öffnung d, welche das Mundloch genannt wird, während ein anderer Teil der eingeblasenen Luft als ein schmaler Strom in den cylinderförmigen Raum aabb eindringt und die zwischen a und b enthaltene Luftsäule in eine schwingende Bewegung versetzt.

(Fig. 220.)



Bei manchen Pfeifen, wie z. B. den Flöten, sind die Wände mit **Öffnungen** versehen. Wir betrachten zunächst Lippenpfeifen ohne Seitenöffnungen. Ferner setzen wir im folgenden voraus, daß das Pfeifenrohr überall (zwischen a und b) gleiche Weite hat und vielmal länger als breit ist.

Je nach der Stärke des Anblasens kann eine Lippenpfeife verschiedene Töne geben, wie wir im folgenden Paragraph näher sehen werden. Bei schwachem Anblasen entsteht im allgemeinen der Grundton, d. h. der tiefste Ton, welchen die Pfeife überhaupt zu geben vermag.

Bei einer Lippenpfeife ist die Höhe des Grundtones der Länge der Pfeife umgekehrt proportional. Eine Pfeife, welche nur die Hälfte, ein Drittel, ein Viertel u. s. w. von der Länge einer anderen hat, giebt die Oktave, die Quinte von der Oktave, die doppelte Oktave u. s. w. Es stimmt also dieses Gesetz ganz mit dem oben (§. 167) über schwingende Saiten angeführten Hauptgesetze überein.

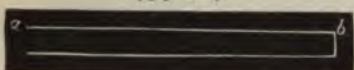
Andererseits ist die Tonhöhe von der Weite der Pfeife, von der Gestalt derselben, ob sie viereckig oder rund, gerade oder krumm ist u. dgl., unabhängig; dagegen ist von

wesentlichem Einfluß auf die Höhe des Tones, ob die Pfeife am oberen Ende geöffnet oder geschlossen ist. Die Lippenpfeifen ohne Seitenöffnungen zerfallen hiernach in zwei Klassen, in solche, welche an beiden Enden offen, und in solche, welche am oberen b (Fig. 220) geschlossen sind. Erstere werden **offene**, letztere **gedeckte Pfeifen** genannt.

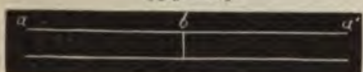
Wenn eine offene Pfeife mit einer gedeckten gleiche Länge hat, so ist ihr Grundton die Oktave vom Grundton der gedeckten. **Eine offene und eine gedeckte Pfeife geben den nämlichen Grundton, wenn die offene Pfeife doppelt so lang ist als die gedeckte.**

Wir betrachten zuerst die Schwingungen der Luft in einer **gedeckten** Pfeife ab (Fig. 221). Indem der eingeblasene schmale Luftstrom seine Bewegung der in der Pfeife eingeschlossenen Luftsäule mitteilt, wird diese gegen den Boden hingedrängt und immer mehr verdichtet, bis diese Verdichtung ein gewisses Maximum erreicht, worauf sich die Luft in der entgegengesetzten Richtung von b nach a hin bewegt und allmählich in b wieder ihre natürliche Dichtigkeit erlangt. Vermöge des Trägheitsgesetzes fährt sie jedoch fort, von b nach a sich zu bewegen, wodurch jetzt in b eine Verdünnung erzeugt wird. Hat diese Verdünnung eine gewisse Größe erreicht, so bewegt sich die Luft wieder von a nach b hin u. s. w., wobei die Dichtigkeit der Luft in a, wo sie mit der äußeren in Verbindung steht, beständig dieselbe bleibt.

(Fig. 221.)



(Fig. 222.)



(Fig. 223.)



Eine **offene** Pfeife muß nach dem Obigen, wenn sie denselben Grundton wie eine gedeckte geben soll, die doppelte Länge haben. Wir schließen hieraus, daß in einer offenen Pfeife schon bei der einfachsten Schwingungsart in der Mitte ein Schwingungsknoten entsteht, so daß dieselbe also als aus zwei gedeckten Pfeifen ab und a'b (Fig. 222) bestehend anzusehen ist. Die Richtigkeit dieser Ansicht kann der folgende Versuch bestätigen. Eine gläserne Pfeife (Fig. 223) wird lotrecht gestellt; über einen Ring wird ein Häutchen gespannt und mit feinem Sande bestreut; hängt man nun den Ring, wie eine Wagschale, an drei Fäden auf und senkt denselben in die zum Tönen gebrachte Pfeife, so gerät der Sand da, wo die Luft am stärksten schwingt, in die heftigste Bewegung, bleibt aber an der Stelle des Schwingungsknotens völlig in Ruhe.

Befinden sich in den Seitenwänden einer Pfeife **Öffnungen**, welche willkürlich geöffnet und geschlossen werden können, so hat man die erste nicht geschlossene Öffnung, wenn dieselbe nicht zu klein ist, als das offene Ende der Pfeife und den Abstand derselben vom Mundloche als die Länge der Pfeife anzusehen. Man begreift hiernach leicht, wie sich durch Öffnen und Schließen der Seitenlöcher der Ton erhöhen und erniedrigen läßt.

Sind die oben angegebenen Bedingungen, daß die Pfeife überall gleiche Weite hat und vielmal (wenigstens 6 mal) länger als breit ist, nicht erfüllt, so wird die Tonhöhe wesentlich durch die Gestalt beeinflußt. So giebt insbeson' ... erseits offene Pfeife, deren Wände vom

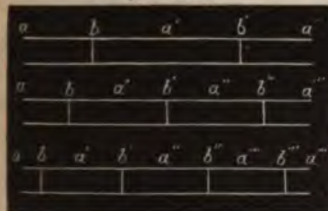
Mundloche nach dem offenen Ende hin sich erweitern, einen höheren Ton, dagegen eine Pfeife, deren Wände nach dem offenen Ende hin sich verengern, wodurch sich dieselbe gleichsam einer gedeckten Pfeife nähert, einen tieferen Ton, als eine offene Pfeife mit parallelen Wänden von gleicher Länge.

Eine am Ende zum Teil gedeckte Pfeife giebt einen tieferen Ton als eine ganz offene und einen höheren Ton als eine ganz gedeckte Pfeife von gleicher Länge.

Hervorheben wollen wir ferner noch, daß der Ton einer Pfeife in dichterer Luft derselbe ist, wie in dünnerer, also unabhängig ist vom Barometerstande, daß er dagegen in wärmerer Luft etwas höher ausfällt als in kälterer. (Vergl. unten §. 176, b, Anm.).

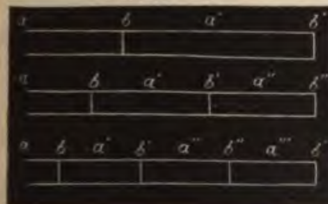
§. 172. Fortsetzung. Ein und dieselbe Pfeife giebt bei verschiedener Stärke des Anblasens nicht stets denselben Ton; vielmehr entstehen bei stärkerem Anblasen höhere Töne. Eine offene Pfeife, welche beim schwachen Anblasen den Grundton giebt, giebt bei verstärktem Anblasen Töne, deren Schwingungszahlen, wenn wir die Schwingungszahl des Grundtones gleich 1 setzen, sich zu dieser wie die Zahlen 2, 3, 4 . . . verhalten, indem nämlich statt eines Schwingungsknotens deren auch 2, 3, 4 . . . entstehen können, wie dieses Fig. 224 zeigt. (In der ersten der abgebildeten Pfeifen liegen die Schwingungsknoten um $^1/_4$ und $^3/_4$ der Länge, in der zweiten um $^1/_6$, $^3/_6$ und $^5/_6$, in der dritten um $^1/_8$, $^3/_8$, $^5/_8$ und $^7/_8$ der Länge vom offenen Ende. Siehe unten die Anm.)

(Fig. 224.)



Ähnliches gilt auch von einer gedeckten Pfeife, jedoch mit dem Unterschiede, daß man hier bei verschiedener Stärke des Anblasens Töne erhält, deren Schwingungszahlen sich wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 . . . verhalten, indem die Schwingungsknoten die in Fig. 225 angezeigte Lage haben. (In der ersten dieser Figuren liegt der Schwingungsknoten um $^1/_3$ der Länge, in der zweiten liegen dieselben um $^1/_5$ und $^3/_5$ und in der dritten um $^1/_7$, $^3/_7$ und $^5/_7$ vom offenen Ende.)

(Fig. 225.)



Während die in den Figuren 222 bis 225 mit b bezeichneten Stellen, in welchen die Luft fast ganz in Ruhe bleibt, Schwingungsknoten heißen, werden die mit a bezeichneten Stellen, in denen die Luft die stärkste Bewegung hat, Schwingungsbäuche genannt. In den Schwingungsknoten wechselt die Dichtigkeit der Luft am stärksten, in den Schwingungsbäuchen aber bleibt dieselbe unverändert. Dagegen findet in den Schwingungsknoten, wie schon gesagt, die geringste, in den Schwingungsbäuchen die stärkste Bewegung statt. Die Hin- und Herbewegung der Teile der zwischen zwei Schwingungsknoten enthaltenen Luftsäule, infolge deren die Luft in den Schwingungsknoten aus der größten Verdichtung in die größte Verdünnung übergeht, wird eine ganze Schwingung genannt. Während die Luftteilchen zwischen dem ersten und zweiten Schwingungsknoten b und b′ (Fig. 224 u. 225) sich in der Richtung von b nach b′ hinbewegen, findet diese Bewegung zwischen dem zweiten und dritten Schwingungsknoten in der entgegengesetzten Richtung, also von b″ nach b′ hin

aber zwischen dem dritten und vierten Schwingungsknoten wieder in der nämlichen Richtung wie zwischen dem ersten und zweiten, also von b'' nach b''' hin u. s. w. statt, in ähnlicher Art, wie wir früher bei einer in aliquoten Teilen schwingenden Saite (Fig. 217, S. 260) gesehen haben, daß je zwei aufeinander folgende Abteilungen nach entgegengesetzten Richtungen schwingen.

Der Abstand von einem Schwingungsknoten zum nächstfolgenden wird eine halbe, bis zum zweitfolgenden eine ganze Wellenlänge genannt. Jede ganze Welle besteht also aus zwei nach entgegengesetzten Richtungen schwingenden Hälften. — Zwischen zwei benachbarten Schwingungsknoten befindet sich immer ein Schwingungsbauch. Derselbe steht von jedem der beiden Schwingungsknoten um eine Viertelwellenlänge ab. Zwei aufeinanderfolgende Schwingungsbäuche sind also ebenfalls um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt.

Ist eine Pfeife an einem Ende geschlossen, so bildet sich beim Tönen an diesem Ende, mag nun die eingeschlossene Luftsäule als Ganzes oder in Teilen schwingen, stets ein Schwingungsknoten, weil die Bewegung der Luft an dem geschlossenen Ende durch den Widerstand der festen Wand gehindert wird; dagegen entsteht an einem offenen Ende jedesmal ein Schwingungsbauch, da die Luft an einem solchen Ende frei hin- und herschwingen kann und wegen ihrer Verbindung mit der äußeren Luft ihre gewöhnliche Dichtigkeit beibehält. Von einem geschlossenen Ende steht daher der zunächst gelegene Schwingungsknoten stets um eine halbe Wellenlänge, von einem offenen Ende um eine Viertelwellenlänge ab.

Giebt nun eine gedeckte Pfeife ihren Grundton, so schwingt die eingeschlossene Luftsäule nach dem vorigen §. ohne Teilung (Fig. 221). Die Länge einer gedeckten Pfeife beträgt daher ein Viertel von der Wellenlänge ihres Grundtones.

Giebt andererseits eine offene Pfeife ihren Grundton, so entsteht in der Mitte ein Schwingungsknoten (Fig. 222). Die Länge einer offenen Pfeife ist daher gleich der Hälfte der Wellenlänge ihres Grundtones.

Beachten wir noch, daß zwei benachbarte Schwingungsknoten um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt sind, so ergiebt sich ferner leicht folgendes:

Schwingt die Luft in einer gedeckten Pfeife mit 1, 2, 3 . . . Schwingungsknoten (Fig. 225), so ist die Länge der Pfeife = $^3/_4$, $^5/_4$, $^7/_4$ . . . von der Wellenlänge des erzeugten Tones. Allgemein ist die Länge einer gedeckten Pfeife gleich einem ungeraden Vielfachen einer Viertelwellenlänge des erzeugten Tones.

(Fig. 226.)



Schwingt die Luft in einer offenen Pfeife mit 2, 3, 4 . . . Schwingungsknoten (Fig. 224), so ist die Länge der Pfeife = $^2/_2$, $^3/_2$, $^4/_2$ . . . oder = $^4/_4$, $^6/_4$, $^8/_4$ . . . von der Wellenlänge des Tones. Allgemein ist die Länge einer offenen Pfeife gleich einem geraden Vielfachen einer Viertelwellenlänge des erzeugten Tones.

Die Lage der Schwingungsknoten und -bäuche in einer Pfeife läßt sich außer durch den im vorhergehenden §. angegebenen Versuch auch noch auf die folgende Weise sichtbar machen. — Die Seitenwand einer Pfeife (Fig. 226) ist an solchen Stellen, an denen Knoten und Bäuche entstehen können, mit Löchern versehen, welche durch dünne Häute verschlossen sind. Jede dieser Stellen ist ferner mit einem kleinen Kasten überdeckt, der einen Gasbrenner trägt und mit einer Gasleitung in Verbindung gesetzt werden kann. Zum Versuche läßt man Gas durch die Brenner strömen und zündet dasselbe an. Bringt man dann die Pfeife zum Tönen, so geraten diejenigen Flammen, welche sich an der Stelle von Knoten befinden, in Zuckungen, indem das Gas infolge der abwechselnden Verdichtung und Verdünnung, welche die Luft an den Knoten erfährt, durch die dünne, leicht bewegliche Haut hindurch einen wechselnden Druck erleidet. Andererseits bleiben die Flammen an den Schwingungsbäuchen, wo die eingeschlossene Luft zwar in lebhafter Bewegung

begriffen ist, die Dichtigkeit derselben sich aber kaum ändert, in Ruhe. Bei kräftigem Anblasen erlöschen die Flammen an den Schwingungsknoten.

Ein anderes Verfahren, welches die Bildung der Schwingungsknoten und -bäuche in einer tönenden Luftsäule sehr schön zeigt, ist das folgende. — Ein elastischer Stab läßt sich dadurch zum Tönen bringen, daß man ihn durch kräftiges Reiben in Longitudinalschwingungen versetzt; hält man ihn insbesondere in der Mitte fest, so entsteht in ähnlicher Weise, wie bei einer offenen Pfeife, in der Mitte ein Schwingungsknoten, während sich an den freien Enden Bäuche mit lebhafter schwingender Bewegung bilden. Verschließt man nun ein langes und weites Glasrohr an beiden Enden durch Korke und bringt dasselbe dann auf die angegebene Weise zum Tönen, so nehmen die verschließenden Korke an der schwingenden Bewegung teil und versetzen dadurch die eingeschlossene Luftsäule ebenfalls in Schwingungen, sodaß diese denselben Ton hervorbringt, wie das geriebene Glasrohr. Hierbei entstehen in der Luftsäule zahlreiche Schwingungsknoten, da der auf die obige Art erzeugte Ton ein sehr hoher ist, die Wellenlänge in einer tönenden Luftsäule aber nach dem vorigen §. um so kürzer ausfällt, je höher der Ton ist. — Hat man nun in das Glasrohr ein lockeres Pulver, etwa Korkfeile, gestreut und bringt man das Rohr dann in wagerechter Lage, nachdem das Pulver in derselben gleichmäßig verteilt worden ist, zum Tönen, so ordnet sich das letztere in zierlichen Staubfiguren an, welche die Lage der Schwingungsknoten und -bäuche deutlich erkennen lassen. Diese Figuren bezeichnet man nach Kundt, welcher dieselben zuerst (1865) dargestellt hat, als Kundtsche Staubfiguren. (S. auch §§. 177 u. 178, Anm.)

Aus dem Obigen ersieht man, wie auch bei einer Pfeife ohne Seitenöffnungen verschiedene Töne durch verschiedenes Anblasen hervorgerufen werden können. —

Im allgemeinen teilt sich die in einer Pfeife eingeschlossene Luftsäule leichter in aliquote Teile, wenn dieselbe im Verhältnis zu ihrer Länge nur eine geringe Weite hat, wie dies z. B. beim Horn der Fall ist. — Die Töne, welche bei einer offenen Pfeife durch Teilung in aliquote Teile überhaupt entstehen können, sind, wenn wir den Grundton mit $\underline{C}$ bezeichnen: $1 = \underline{C}$, $2 = C$, $3 = G$, $4 = c$, $5 = e$, $6 = g$ u. s. w.

In betreff des oben (§. 171) angeführten Hauptgesetzes über die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Länge der schwingenden Luftsäule haben wir noch anzuführen, daß, wenn man den Abstand eines Schwingungsknotens vom nächstfolgenden mißt, dieser Abstand genau dem obigen Gesetze entspricht, daß dagegen die Entfernung des dem Mundloche zunächst liegenden Schwingungsknotens von dem Mundloche sich etwas kleiner als diese Größe herausstellt. Wir werden daher annehmen müssen, daß die Dichtigkeit der schwingenden Luftsäule an dem Mundloche nicht, wie wir oben (§. 171) angegeben haben, gänzlich unverändert bleibt, sondern schon eine kleine Änderung erleidet und daher die volle Länge der schwingenden Luftsäule sich noch etwas über das Mundloch hinaus erstreckt. Die Größe dieses Unterschiedes ändert sich mit der Gestalt und Größe des Mundloches. — Auch der Abstand des Endes einer offenen Pfeife vom (nächsten) Schwingungsknoten kann nicht als ein genaues Maß für die Bestimmung der Länge der schwingenden Luftsäule dienen, da sich diese noch etwas über das offene Ende hinaus erstreckt.

§. 173, a. Zungenpfeifen. In den Zungenpfeifen wird zunächst durch einen eingeblasenen Luftstrom ein elastisches Blättchen in Bewegung gesetzt, welches seine schwingende Bewegung der in der Pfeife eingeschlossenen Luftsäule mitteilt. Es gehören hierher die Pfeifen an der Orgel, welche man Schnarrwerke nennt, die kleinen blechernen Trompeten und Hörner, welche den Kindern zum Spielwerke dienen, die Klarinette u. dgl. m.

Ist der Ton, welchen das für sich allein schwingende elastische Blättchen giebt, von der Art, daß auch die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule, indem sie sich in mehr oder weniger aliquote Teile teilt, denselben Ton geben kann, so geht auch in der Verbindung beider der nämliche Ton hervor, d. h. derjenige Ton, welchen das elastische Blättchen, wenn es für sich allein schwingt, erzeugt. Findet aber ein solches Ver-

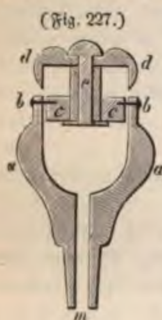
hältnis nicht statt, so modifizieren sich die Schwingungen des Blättchens und der Luft in der Pfeife gegenseitig und zwar allemal in der Art, daß dieselben vollkommen gleichzeitig erfolgen.

Bei der Trompete, dem Horn, der Posaune wirken die Lippen des Bläsers in ähnlicher Weise, wie die Zunge in einer Zungenpfeife.

Die Luft in einer Röhre kann auch durch eine in derselben befindliche Flamme des Leuchtgases oder irgend eines andern Gases zum Tönen gebracht werden, wenn zwischen der Flamme und der Röhre ein angemessenes Verhältnis stattfindet. Man bezeichnet eine solche Flamme als **singende** und eine Zusammenstellung von mehreren als **chemische Harmonika**.

Von den im vorhergehenden behandelten sind in ihrer Entstehung diejenigen Töne verschieden, welche erzeugt werden, wenn ein Luftstrom an den Rändern fester Körper vorbeigeht. Wahrscheinlich werden dieselben dadurch hervorgebracht, daß die bewegten Luftteilchen durch die Reibung an den festen Körpern, an denen sie vorübergehen, in Schwingungen geraten. Es gehören hierher die Töne, welche durch den Wind bei seinem Durchgange durch Spalten oder rundliche Öffnungen erzeugt werden, ferner die Töne, welche entstehen, wenn man mit dem Munde gegen die Schneide eines Messers oder den Rand eines Papierblattes bläst u. dgl. m.

(Fig. 227.)



Eine praktische Anwendung finden diese Töne in der **Dampfpfeife**, deren Einrichtung Fig. 227 im wesentlichen darstellt. An dem Ende einer sich bauchig erweiternden Röhre aa ist eine kreisförmige Scheibe cc angebracht und mit den Wänden der Pfeife durch einige Schrauben bb fest verbunden. Da die Scheibe einen etwas kleineren Durchmesser hat als das Ende der bauchförmigen Erweiterung, so bleibt zwischen den Wänden der letzteren und der Scheibe ein ringförmiger Spalt, durch welchen die bei m eingeblasene Luft oder der Dampf entweichen kann. Indem die Luft oder der Dampf bei seinem Austritte aus dem Spalte auf den scharf zulaufenden Rand eines hohlen Deckels dd trifft, welcher mit der Scheibe cc durch die Säule e fest verbunden ist, wird in der oben angegebenen Weise ein Ton erzeugt.

Umgekehrt müssen auch Töne entstehen, wenn ein fester Körper rasch in ruhender Luft bewegt wird, so z. B. die pfeifenden Töne, welche abgeschossene Kugeln erzeugen.

§. 173, b. Die menschliche Stimme. Das Organ, in welchem die menschliche Stimme erzeugt wird, ist der **Kehlkopf**. Derselbe bildet das obere Ende der Luftröhre und besteht aus mehreren Knorpeln, zwischen denen sich von vorn nach hinten zwei elastische Bänder, die **Stimmbänder**, ausbreiten, welche durch besondere Muskeln straff gespannt werden können.[1]

Bei ruhigem Atmen liegen die Stimmbänder schlaff nebeneinander und lassen einen nach vorn sich verengenden, nach hinten sich erweiternden Spalt, die **Stimmritze**, zwischen sich offen, durch welchen die Luft in die Lungen einströmt, ohne die Stimmbänder in Bewegung zu setzen. Beim Sprechen oder Singen werden dagegen die Stimmbänder straff angespannt; zugleich wird die Stimmritze verengt. Infolgedessen versetzt die durch dieselbe hindurchströmende Luft die Stimmbänder in Schwingungen, welche sich der im Kehlkopfe und der Mundhöhle befindlichen Luft mitteilen. Je stärker die Stimmbänder angespannt sind, und je enger die Stimmritze ist, desto höher ist der erzeugte Ton. Das Stimmorgan hat hiernach die meiste Ähnlichkeit mit den Zungenpfeifen.

Das Artikulierte des Tones wird durch die Gestalt der Mundhöhle, die Stellung der Zunge, *der Lippen u. s. w. hervorgebracht*; worauf dasselbe beruht, werden wir im folgenden Paragraphen zeigen.

§. 174. Die Klangfarbe. Wir haben uns im vorhergehenden hauptsächlich t der Höhe der Töne und den Gesetzen beschäftigt, von welchen dieselbe bei ver- edenen den Ton erregenden Instrumenten abhängt. Zwei Töne, welche ganz che Höhe haben und auch genau gleich stark erklingen, bringen aber darum noch ht, wenn sie von verschiedenen Tonerregern abstammen, die nämliche Empfindung unserm Ohre hervor. Der Ton einer Saite hat einen anderen Klang als der einer Pfeife; Darmsaiten klingen anders als metallene; ja selbst der Ton der nlichen Saite klingt unserm Ohr verschieden, wenn dieselbe angeschlagen, gezupft r gestrichen wird, wie das erste beim Klavier, das andere bei der Harfe, das e bei der Geige geschieht; ebenso haben die Töne der offenen und gedeckten gelpfeifen, der Zungenpfeifen, Posaunen, Trompeten, Hörner u. dgl. einen ver- edenen Klang.

Diese Verschiedenheit bei Tönen, welche gleiche Höhe und Stärke haben, bezeichnet n als Klangfarbe. Die Klangfarbe eines Tones wird durch die Höhe, ärke und Zahl der denselben begleitenden Nebentöne (§. 168) bedingt. Ein Ton klingt voll und harmonisch, wenn ihm nur die ersten unter sich monierenden Obertöne beigemengt sind; dies ist z. B. bei den Saiten der Klaviere Fall, indem der breite Lederhammer größere Saitenteile trifft und daher nur die eren Obertöne erzeugt; wird die Saite dagegen sehr spitz (etwa mit einem tallenen Stifte) gezupft oder sehr stark gestrichen, so klingt der Ton der Saite arf, weil jetzt auch die höheren, nicht mehr unter sich harmonierenden Obertöne vorgerufen werden; die Flageolettöne (§. 168) sind weich, aber ohne Fülle, weil nen die Obertöne fast ganz fehlen, u. dgl.

Da die Nebentöne schwächer als der Hauptton, zum Teile sehr schwach sind, so ist es auch für s geübte Ohr oft schwierig, dieselben aus dem Tongemisch herauszuhören. Man hat daher für diesen eck besondere Apparate konstruiert, welche den Namen Resonatoren führen, da sie den Ton rch Resonanz (§. 181) verstärken. Dieselben bestehen aus hohlen Kugeln von Glas oder Messing ig. 228) mit zwei einander gegenüberstehenden Ansätzen, von denen der eine, welcher ins Ohr gesteckt rd, spitzer verläuft, der andere aber abgestutzt ist. Die Durchmesser dieser Kugeln sind nach der Höhe des Tones, welchen sie verstärken sollen, sehr verschieden. Da durch jede Kugel nur ein bestimmter Ton verstärkt wird, so vernimmt man, wenn sich unter den Nebentönen derjenige befindet, welcher zu dem Resonator paßt, den man im Ohr hat, diesen Ton stark, während die andern schwach bleiben.

(Fig. 228.)



Die richtige Erklärung der Klangfarbe ist zuerst von Helmholtz (1858) gegeben; er bediente sich auch zuerst bei seinen Untersuchungen der Resonatoren.

Helmholtz hat ferner den Grund aufgesucht, auf welchem die verschiedenen Laute der menschlichen timme beruhen, und insbesondere für die Vokale nachgewiesen, daß der verschiedene Laut derselben rch einen oder auch zwei für jeden Vokal besondere Töne erzeugt wird, welche den Hauptton mal begleiten, von den Nebentönen desselben aber verschieden und gänzlich unabhängig sind. lmholtz ist zu diesem Resultate nicht bloß auf dem Wege scharfer Beobachtung gelangt, sondern hat h zuerst einen Apparat konstruiert, durch welchen die Laute der Vokale künstlich hervorgerufen rden können.

§. 175. Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Das gewöhnliche rtpflanzungsmittel des Schalles ist die Luft.

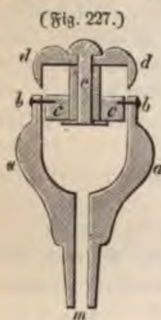
hältnis nicht statt, so modifizieren sich die Schwingungen des Blättchens und der Luft in der Pfeife gegenseitig und zwar allemal in der Art, daß dieselben vollkommen gleichzeitig erfolgen.

Bei der Trompete, dem Horn, der Posaune wirken die Lippen des Bläsers in ähnlicher Weise, wie die Zunge in einer Zungenpfeife.

Die Luft in einer Röhre kann auch durch eine in derselben befindliche Flamme des Leuchtgases oder irgend eines andern Gases zum Tönen gebracht werden, wenn zwischen der Flamme und der Röhre ein angemessenes Verhältnis stattfindet. Man bezeichnet eine solche Flamme als **singende** und eine Zusammenstellung von mehreren als **chemische Harmonika**.

Von den im vorhergehenden behandelten sind in ihrer Entstehung diejenigen Töne verschieden, welche erzeugt werden, wenn ein Luftstrom an den Rändern fester Körper vorbeigeht. Wahrscheinlich werden dieselben dadurch hervorgebracht, daß die bewegten Luftteilchen durch die Reibung an den festen Körpern, an denen sie vorübergehen, in Schwingungen geraten. Es gehören hierher die Töne, welche durch den Wind bei seinem Durchgange durch Spalten oder rundliche Öffnungen erzeugt werden, ferner die Töne, welche entstehen, wenn man mit dem Munde gegen die Schneide eines Messers oder den Rand eines Papierblattes bläst u. dgl. m.

(Fig. 227.)



Eine praktische Anwendung finden diese Töne in der **Dampfpfeife**, deren Einrichtung Fig. 227 im wesentlichen darstellt. An dem Ende einer sich bauchig erweiternden Röhre aa ist eine kreisförmige Scheibe cc angebracht und mit den Wänden der Pfeife durch einige Schrauben bb fest verbunden. Da die Scheibe einen etwas kleineren Durchmesser hat als das Ende der bauchförmigen Erweiterung, so bleibt zwischen den Wänden der letzteren und der Scheibe ein ringförmiger Spalt, durch welchen die bei m eingeblasene Luft oder der Dampf entweichen kann. Indem die Luft oder der Dampf bei seinem Austritte aus dem Spalte auf den scharf zulaufenden Rand eines hohlen Deckels dd trifft, welcher mit der Scheibe cc durch die Säule e fest verbunden ist, wird in der oben angegebenen Weise ein Ton erzeugt.

Umgekehrt müssen auch Töne entstehen, wenn ein fester Körper rasch in ruhender Luft bewegt wird, so z. B. die pfeifenden Töne, welche abgeschossene Kugeln erzeugen.

§. 173, b. Die menschliche Stimme. Das Organ, in welchem die menschliche Stimme erzeugt wird, ist der **Kehlkopf**. Derselbe bildet das obere Ende der Luftröhre und besteht aus mehreren Knorpeln, zwischen denen sich von vorn nach hinten zwei elastische Bänder, die **Stimmbänder**, ausbreiten, welche durch besondere Muskeln straff gespannt werden können.[1]

Bei ruhigem Atmen liegen die Stimmbänder schlaff nebeneinander und lassen einen nach vorn sich verengenden, nach hinten sich erweiternden Spalt, die **Stimmritze**, zwischen sich offen, durch welchen die Luft in die Lungen einströmt, ohne die Stimmbänder in Bewegung zu setzen. Beim Sprechen oder Singen werden dagegen die Stimmbänder straff angespannt; zugleich wird die Stimmritze verengt. Infolgedessen versetzt die durch dieselbe hindurchströmende Luft die Stimmbänder in Schwingungen, welche sich der im Kehlkopfe und der Mundhöhle befindlichen Luft mitteilen. Je stärker die Stimmbänder angespannt sind, und je enger die Stimmritze ist, desto höher ist der erzeugte Ton. Das Stimmorgan hat hiernach die meiste Ähnlichkeit mit den Zungenpfeifen.

Das Artikulierte des Tones wird durch die Gestalt der Mundhöhle, die Stellung der Zunge, der Lippen u. s. w. hervorgebracht; worauf dasselbe beruht, werden wir im folgenden Paragraphen zeigen.

§. 174. Die Klangfarbe. Wir haben uns im vorhergehenden hauptsächlich it der Höhe der Töne und den Gesetzen beschäftigt, von welchen dieselbe bei ver-iedenen den Ton erregenden Instrumenten abhängt. Zwei Töne, welche ganz eiche Höhe haben und auch genau gleich stark erklingen, bringen aber darum noch cht, wenn sie von verschiedenen Tonerregern abstammen, die nämliche Empfindung unserm Ohre hervor. Der Ton einer Saite hat einen anderen Klang als der on einer Pfeife; Darmsaiten klingen anders als metallene; ja selbst der Ton der mlichen Saite klingt unserm Ohr verschieden, wenn dieselbe angeschlagen, gezupft er gestrichen wird, wie das erste beim Klavier, das andere bei der Harfe, das te bei der Geige geschieht; ebenso haben die Töne der offenen und gedeckten rgelpfeifen, der Zungenpfeifen, Posaunen, Trompeten, Hörner u. dgl. einen ver-iedenen Klang.

Diese Verschiedenheit bei Tönen, welche gleiche Höhe und Stärke haben, bezeichnet an als **Klangfarbe**. Die Klangfarbe eines Tones wird durch die Höhe, tärke und Zahl der denselben begleitenden Nebentöne (§. 168) bedingt. Ein Ton klingt voll und harmonisch, wenn ihm nur die ersten unter sich rmonierenden Obertöne beigemengt sind; dies ist z. B. bei den Saiten der Klaviere r Fall, indem der breite Lederhammer größere Saitenteile trifft und daher nur die eferen Obertöne erzeugt; wird die Saite dagegen sehr spitz (etwa mit einem etallenen Stifte) gezupft oder sehr stark gestrichen, so klingt der Ton der Saite harf, weil jetzt auch die höheren, nicht mehr unter sich harmonierenden Obertöne rvorgerufen werden; die Flageolettöne (§. 168) sind weich, aber ohne Fülle, weil nen die Obertöne fast ganz fehlen, u. dgl.

Da die Nebentöne schwächer als der Hauptton, zum Teile sehr schwach sind, so ist es auch für as geübte Ohr oft schwierig, dieselben aus dem Tongemisch herauszuhören. Man hat daher für diesen Zweck besondere Apparate konstruiert, welche den Namen **Resonatoren** führen, da sie den Ton urch Resonanz (§. 181) verstärken. Dieselben bestehen aus hohlen Kugeln von Glas oder Messing Fig. 228) mit zwei einander gegenüberstehenden Ansätzen, von denen der eine, welcher ins Ohr gesteckt ird, spitzer verläuft, der andere aber abgestutzt ist. Die Durchmesser dieser Kugeln sind nach der Höhe des Tones, welchen sie verstärken sollen, sehr verschieden. Da durch jede Kugel nur ein bestimmter Ton verstärkt wird, so vernimmt man, wenn sich unter den Nebentönen derjenige befindet, welcher zu dem Resonator paßt, den man im Ohr hat, diesen Ton stark, während die andern schwach bleiben.

(Fig. 228.)



Die richtige Erklärung der Klangfarbe ist zuerst von **Helmholtz** (1858) gegeben; er bediente sich auch zuerst bei seinen Untersuchungen der Resonatoren.

Helmholtz hat ferner den Grund aufgesucht, auf welchem die verschiedenen Laute der menschlichen Stimme beruhen, und insbesondere für die Vokale nachgewiesen, daß der verschiedene Laut derselben durch einen oder auch zwei für jeden Vokal besondere Töne erzeugt wird, welche den Hauptton allemal begleiten, von den Nebentönen desselben aber verschieden und gänzlich unabhängig sind. Helmholtz ist zu diesem Resultate nicht bloß auf dem Wege scharfer Beobachtung gelangt, sondern hat auch zuerst einen Apparat konstruiert, durch welchen die Laute der Vokale künstlich hervorgerufen werden können.

§. 175. Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Das gewöhnliche Fortpflanzungsmittel des Schalles ist die Luft.

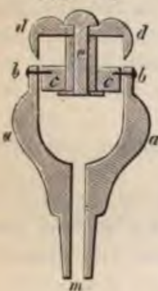
hältnis nicht statt, so modifizieren sich die Schwingungen des Blättchens und der Luft in der Pfeife gegenseitig und zwar allemal in der Art, daß dieselben vollkommen gleichzeitig erfolgen.

Bei der Trompete, dem Horn, der Posaune wirken die Lippen des Bläsers in ähnlicher Weise, wie die Zunge in einer Zungenpfeife.

Die Luft in einer Röhre kann auch durch eine in derselben befindliche Flamme des Leuchtgases oder irgend eines andern Gases zum Tönen gebracht werden, wenn zwischen der Flamme und der Röhre ein angemessenes Verhältnis stattfindet. Man bezeichnet eine solche Flamme als singende und eine Zusammenstellung von mehreren als chemische Harmonika.

Von den im vorhergehenden behandelten sind in ihrer Entstehung diejenigen Töne verschieden, welche erzeugt werden, wenn ein Luftstrom an den Rändern fester Körper vorbeigeht. Wahrscheinlich werden dieselben dadurch hervorgebracht, daß die bewegten Luftteilchen durch die Reibung an den festen Körpern, an denen sie vorübergehen, in Schwingungen geraten. Es gehören hierher die Töne, welche durch den Wind bei seinem Durchgange durch Spalten oder rundliche Öffnungen erzeugt werden, ferner die Töne, welche entstehen, wenn man mit dem Munde gegen die Schneide eines Messers oder den Rand eines Papierblattes bläst u. dgl. m.

(Fig. 227.)



Eine praktische Anwendung finden diese Töne in der Dampfpfeife, deren Einrichtung Fig. 227 im wesentlichen darstellt. An dem Ende einer sich bauchig erweiternden Röhre aa ist eine kreisförmige Scheibe cc angebracht und mit den Wänden der Pfeife durch einige Schrauben bb fest verbunden. Da die Scheibe einen etwas kleineren Durchmesser hat als das Ende der bauchförmigen Erweiterung, so bleibt zwischen den Wänden der letzteren und der Scheibe ein ringförmiger Spalt, durch welchen die bei m eingeblasene Luft oder der Dampf entweichen kann. Indem die Luft oder der Dampf bei seinem Austritte aus dem Spalte auf den scharf zulaufenden Rand eines hohlen Deckels dd trifft, welcher mit der Scheibe cc durch die Säule e fest verbunden ist, wird in der oben angegebenen Weise ein Ton erzeugt.

Umgekehrt müssen auch Töne entstehen, wenn ein fester Körper rasch in ruhender Luft bewegt wird, so z. B. die pfeifenden Töne, welche abgeschossene Kugeln erzeugen.

§. 173, b. Die menschliche Stimme. Das Organ, in welchem die menschliche Stimme erzeugt wird, ist der Kehlkopf. Derselbe bildet das obere Ende der Luftröhre und besteht aus mehreren Knorpeln, zwischen denen sich von vorn nach hinten zwei elastische Bänder, die Stimmbänder, ausbreiten, welche durch besondere Muskeln straff gespannt werden können.[1]

Bei ruhigem Atmen liegen die Stimmbänder schlaff nebeneinander und lassen einen nach vorn sich verengenden, nach hinten sich erweiternden Spalt, die Stimmritze, zwischen sich offen, durch welchen die Luft in die Lungen einströmt, ohne die Stimmbänder in Bewegung zu setzen. Beim Sprechen oder Singen werden dagegen die Stimmbänder straff angespannt; zugleich wird die Stimmritze verengt. Infolgedessen versetzt die durch dieselbe hindurchströmende Luft die Stimmbänder in Schwingungen, welche sich der im Kehlkopfe und der Mundhöhle befindlichen Luft mitteilen. Je stärker die Stimmbänder angespannt sind, und je enger die Stimmritze ist, desto höher ist der erzeugte Ton. Das Stimmorgan hat hiernach die meiste Ähnlichkeit mit den Zungenpfeifen.

Das Artikulierte des Tones wird durch die Gestalt der Mundhöhle, die Stellung der Zunge, *der Lippen u. s. w.* hervorgebracht; worauf dasselbe beruht, werden wir im folgenden Paragraphen zeigen.

§. 174. Die Klangfarbe. Wir haben uns im vorhergehenden hauptsächlich it der Höhe der Töne und den Gesetzen beschäftigt, von welchen dieselbe bei ver- jiedenen den Ton erregenden Instrumenten abhängt. Zwei Töne, welche ganz eiche Höhe haben und auch genau gleich stark erklingen, bringen aber darum noch cht, wenn sie von verschiedenen Tonerregern abstammen, die nämliche Empfindung unserm Ohre hervor. Der Ton einer Saite hat einen anderen Klang als der on einer Pfeife; Darmsaiten klingen anders als metallene; ja selbst der Ton der imlichen Saite klingt unserm Ohr verschieden, wenn dieselbe angeschlagen, gezupft er gestrichen wird, wie das erste beim Klavier, das andere bei der Harfe, das ıte bei der Geige geschieht; ebenso haben die Töne der offenen und gedeckten rgelpfeifen, der Zungenpfeifen, Posaunen, Trompeten, Hörner u. dgl. einen ver- jiedenen Klang.

Diese Verschiedenheit bei Tönen, welche gleiche Höhe und Stärke haben, bezeichnet an als **Klangfarbe**. **Die Klangfarbe eines Tones wird durch die Höhe, tärke und Zahl der denselben begleitenden Nebentöne (§. 168) bedingt.**

Ein Ton klingt voll und harmonisch, wenn ihm nur die ersten unter sich rmonierenden Obertöne beigemengt sind; dies ist z. B. bei den Saiten der Klaviere r Fall, indem der breite Lederhammer größere Saitenteile trifft und daher nur die eferen Obertöne erzeugt; wird die Saite dagegen sehr spitz (etwa mit einem etallenen Stifte) gezupft oder sehr stark gestrichen, so klingt der Ton der Saite harf, weil jetzt auch die höheren, nicht mehr unter sich harmonierenden Obertöne ervorgerufen werden; die Flageolettöne (§. 168) sind weich, aber ohne Fülle, weil hnen die Obertöne fast ganz fehlen, u. dgl.

Da die Nebentöne schwächer als der Hauptton, zum Teile sehr schwach sind, so ist es auch für as geübte Ohr oft schwierig, dieselben aus dem Tongemisch herauszuhören. Man hat daher für diesen Zweck besondere Apparate konstruiert, welche den Namen **Resonatoren** führen, da sie den Ton urch Resonanz (§. 181) verstärken. Dieselben bestehen aus hohlen Kugeln von Glas oder Messing Fig. 228) mit zwei einander gegenüberstehenden Ansätzen, von denen der eine, welcher ins Ohr gesteckt wird, spitzer verläuft, der andere aber abgestutzt ist. Die Durchmesser dieser Kugeln sind nach der Höhe des Tones, welchen sie verstärken sollen, sehr verschieden. Da durch jede Kugel nur ein bestimmter Ton verstärkt wird, so vernimmt man, wenn sich unter den Nebentönen derjenige befindet, welcher zu dem Resonator paßt, den man im Ohr hat, diesen Ton stark, während die andern schwach bleiben.

(Fig. 228.)



Die richtige Erklärung der Klangfarbe ist zuerst von **Helmholtz** (1858) gegeben; er bediente sich auch zuerst bei seinen Untersuchungen der Resonatoren.

Helmholtz hat ferner den Grund aufgesucht, auf welchem die verschiedenen Laute der menschlichen Stimme beruhen, und insbesondere für die Vokale nachgewiesen, daß der verschiedene Laut derselben durch einen oder auch zwei für jeden Vokal besondere Töne erzeugt wird, welche den Hauptton allemal begleiten, von den Nebentönen desselben aber verschieden und gänzlich unabhängig sind. **Helmholtz** ist zu diesem Resultate nicht bloß auf dem Wege scharfer Beobachtung gelangt, sondern hat auch zuerst einen Apparat konstruiert, durch welchen die Laute der Vokale künstlich hervorgerufen werden können.

§. 175. Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Das gewöhnliche Fortpflanzungsmittel des *Schalles* ist die Luft.

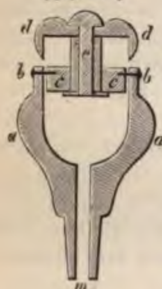
hältnis nicht statt, so modifizieren sich die Schwingungen des Blättchens und der Luft in der Pfeife gegenseitig und zwar allemal in der Art, daß dieselben vollkommen gleichzeitig erfolgen.

Bei der Trompete, dem Horn, der Posaune wirken die Lippen des Bläsers in ähnlicher Weise, wie die Zunge in einer Zungenpfeife.

Die Luft in einer Röhre kann auch durch eine in derselben befindliche Flamme des Leuchtgases oder irgend eines andern Gases zum Tönen gebracht werden, wenn zwischen der Flamme und der Röhre ein angemessenes Verhältnis stattfindet. Man bezeichnet eine solche Flamme als singende und eine Zusammenstellung von mehreren als chemische Harmonika.

Von den im vorhergehenden behandelten sind in ihrer Entstehung diejenigen Töne verschieden, welche erzeugt werden, wenn ein Luftstrom an den Rändern fester Körper vorbeigeht. Wahrscheinlich werden dieselben dadurch hervorgebracht, daß die bewegten Luftteilchen durch die Reibung an den festen Körpern, an denen sie vorübergehen, in Schwingungen geraten. Es gehören hierher die Töne, welche durch den Wind bei seinem Durchgange durch Spalten oder rundliche Öffnungen erzeugt werden, ferner die Töne, welche entstehen, wenn man mit dem Munde gegen die Schneide eines Messers oder den Rand eines Papierblattes bläst u. dgl. m.

(Fig. 227.)



Eine praktische Anwendung finden diese Töne in der Dampfpfeife, deren Einrichtung Fig. 227 im wesentlichen darstellt. An dem Ende einer sich bauchig erweiternden Röhre aa ist eine kreisförmige Scheibe cc angebracht und mit den Wänden der Pfeife durch einige Schrauben bb fest verbunden. Da die Scheibe einen etwas kleineren Durchmesser hat als das Ende der bauchförmigen Erweiterung, so bleibt zwischen den Wänden der letzteren und der Scheibe ein ringförmiger Spalt, durch welchen die bei m eingeblasene Luft oder der Dampf entweichen kann. Indem die Luft oder der Dampf bei seinem Austritte aus dem Spalte auf den scharf zulaufenden Rand eines hohlen Deckels dd trifft, welcher mit der Scheibe cc durch die Säule e fest verbunden ist, wird in der oben angegebenen Weise ein Ton erzeugt.

Umgekehrt müssen auch Töne entstehen, wenn ein fester Körper rasch in ruhender Luft bewegt wird, so z. B. die pfeifenden Töne, welche abgeschossene Kugeln erzeugen.

§. 173, b. Die menschliche Stimme. Das Organ, in welchem die menschliche Stimme erzeugt wird, ist der Kehlkopf. Derselbe bildet das obere Ende der Luftröhre und besteht aus mehreren Knorpeln, zwischen denen sich von vorn nach hinten zwei elastische Bänder, die Stimmbänder, ausbreiten, welche durch besondere Muskeln straff gespannt werden können.[1]

Bei ruhigem Atmen liegen die Stimmbänder schlaff nebeneinander und lassen einen nach vorn sich verengenden, nach hinten sich erweiternden Spalt, die Stimmritze, zwischen sich offen, durch welchen die Luft in die Lungen einströmt, ohne die Stimmbänder in Bewegung zu setzen. Beim Sprechen oder Singen werden dagegen die Stimmbänder straff angespannt; zugleich wird die Stimmritze verengt. Infolgedessen versetzt die durch dieselbe hindurchströmende Luft die Stimmbänder in Schwingungen, welche sich der im Kehlkopfe und der Mundhöhle befindlichen Luft mitteilen. Je stärker die Stimmbänder angespannt sind, und je enger die Stimmritze ist, desto höher ist der erzeugte Ton. Das Stimmorgan hat hiernach die meiste Ähnlichkeit mit den Zungenpfeifen.

Das Artikulierte des Tones wird durch die Gestalt der Mundhöhle, die Stellung der Zunge, *der Lippen u. s. w.* hervorgebracht; worauf dasselbe beruht, werden wir im folgenden Paragraphen zeigen.

§. 174. Die Klangfarbe. Wir haben uns im vorhergehenden hauptsächlich [m]it der Höhe der Töne und den Gesetzen beschäftigt, von welchen dieselbe bei ver[sch]iedenen den Ton erregenden Instrumenten abhängt. Zwei Töne, welche ganz [gl]eiche Höhe haben und auch genau gleich stark erklingen, bringen aber darum noch [ni]cht, wenn sie von verschiedenen Tonerregern abstammen, die nämliche Empfindung [in] unserm Ohre hervor. Der Ton einer Saite hat einen anderen Klang als der [v]on einer Pfeife; Darmsaiten klingen anders als metallene; ja selbst der Ton der [nä]mlichen Saite klingt unserm Ohr verschieden, wenn dieselbe angeschlagen, gezupft [od]er gestrichen wird, wie das erste beim Klavier, das andere bei der Harfe, das [let]zte bei der Geige geschieht; ebenso haben die Töne der offenen und gedeckten [O]rgelpfeifen, der Zungenpfeifen, Posaunen, Trompeten, Hörner u. dgl. einen ver[sch]iedenen Klang.

Diese Verschiedenheit bei Tönen, welche gleiche Höhe und Stärke haben, bezeichnet [m]an als **Klangfarbe**. **Die Klangfarbe eines Tones wird durch die Höhe, [S]tärke und Zahl der denselben begleitenden Nebentöne** (§. 168) **bedingt.**

Ein Ton klingt voll und harmonisch, wenn ihm nur die ersten unter sich [h]armonierenden Obertöne beigemengt sind; dies ist z. B. bei den Saiten der Klaviere [de]r Fall, indem der breite Lederhammer größere Saitenteile trifft und daher nur die [ti]eferen Obertöne erzeugt; wird die Saite dagegen sehr spitz (etwa mit einem [m]etallenen Stifte) gezupft oder sehr stark gestrichen, so klingt der Ton der Saite [sc]harf, weil jetzt auch die höheren, nicht mehr unter sich harmonierenden Obertöne [h]ervorgerufen werden; die Flageolettöne (§. 168) sind weich, aber ohne Fülle, weil [ih]nen die Obertöne fast ganz fehlen, u. dgl.

Da die Nebentöne schwächer als der Hauptton, zum Teile sehr schwach sind, so ist es auch für [da]s geübte Ohr oft schwierig, dieselben aus dem Tongemisch herauszuhören. Man hat daher für diesen [Z]weck besondere Apparate konstruiert, welche den Namen **Resonatoren** führen, da sie den Ton [du]rch Resonanz (§. 181) verstärken. Dieselben bestehen aus hohlen Kugeln von Glas oder Messing [(F]ig. 228) mit zwei einander gegenüberstehenden Ansätzen, von denen der eine, welcher ins Ohr gesteckt [wi]rd, spitzer verläuft, der andere aber abgestutzt ist. Die Durchmesser dieser Kugeln sind nach der Höhe des Tones, welchen sie verstärken sollen, sehr verschieden. Da durch jede Kugel nur ein bestimmter Ton verstärkt wird, so vernimmt man, wenn sich unter den Nebentönen derjenige befindet, welcher zu dem Resonator paßt, den man im Ohr hat, diesen Ton stark, während die andern schwach bleiben.

(Fig. 228.)



Die richtige Erklärung der Klangfarbe ist zuerst von **Helmholtz** (1858) gegeben; er bediente sich auch zuerst bei seinen Untersuchungen der Resonatoren.

Helmholtz hat ferner den Grund aufgesucht, auf welchem die verschiedenen Laute der menschlichen [S]timme beruhen, und insbesondere für die Vokale nachgewiesen, daß der verschiedene Laut derselben [du]rch einen oder auch zwei für jeden Vokal besondere Töne erzeugt wird, welche den Hauptton [je]mal begleiten, von den Nebentönen desselben aber verschieden und gänzlich unabhängig sind. [H]elmholtz ist zu diesem Resultate nicht bloß auf dem Wege scharfer Beobachtung gelangt, sondern hat [au]ch zuerst einen Apparat konstruiert, durch welchen die Laute der Vokale künstlich hervorgerufen [w]erden können.

§. 175. Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Das gewöhnliche [F]ortpflanzungsmittel des Schalles ist die Luft.

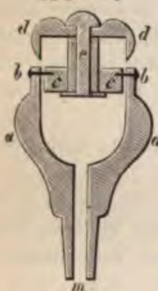
hältnis nicht statt, so modifizieren sich die Schwingungen des Blättchens und der Luft in der Pfeife gegenseitig und zwar allemal in der Art, daß dieselben vollkommen gleichzeitig erfolgen.

Bei der Trompete, dem Horn, der Posaune wirken die Lippen des Bläsers in ähnlicher Weise, wie die Zunge in einer Zungenpfeife.

Die Luft in einer Röhre kann auch durch eine in derselben befindliche Flamme des Leuchtgases oder irgend eines andern Gases zum Tönen gebracht werden, wenn zwischen der Flamme und der Röhre ein angemessenes Verhältnis stattfindet. Man bezeichnet eine solche Flamme als singende und eine Zusammenstellung von mehreren als chemische Harmonika.

Von den im vorhergehenden behandelten sind in ihrer Entstehung diejenigen Töne verschieden, welche erzeugt werden, wenn ein Luftstrom an den Rändern fester Körper vorbeigeht. Wahrscheinlich werden dieselben dadurch hervorgebracht, daß die bewegten Luftteilchen durch die Reibung an den festen Körpern, an denen sie vorübergehen, in Schwingungen geraten. Es gehören hierher die Töne, welche durch den Wind bei seinem Durchgange durch Spalten oder rundliche Öffnungen erzeugt werden, ferner die Töne, welche entstehen, wenn man mit dem Munde gegen die Schneide eines Messers oder den Rand eines Papierblattes bläst u. dgl. m.

(Fig. 227.)



Eine praktische Anwendung finden diese Töne in der Dampfpfeife, deren Einrichtung Fig. 227 im wesentlichen darstellt. An dem Ende einer sich bauchig erweiternden Röhre aa ist eine kreisförmige Scheibe cc angebracht und mit den Wänden der Pfeife durch einige Schrauben bb fest verbunden. Da die Scheibe einen etwas kleineren Durchmesser hat als das Ende der bauchförmigen Erweiterung, so bleibt zwischen den Wänden der letzteren und der Scheibe ein ringförmiger Spalt, durch welchen die bei m eingeblasene Luft oder der Dampf entweichen kann. Indem die Luft oder der Dampf bei seinem Austritte aus dem Spalte auf den scharf zulaufenden Rand eines hohlen Deckels dd trifft, welcher mit der Scheibe cc durch die Säule e fest verbunden ist, wird in der oben angegebenen Weise ein Ton erzeugt.

Umgekehrt müssen auch Töne entstehen, wenn ein fester Körper rasch in ruhender Luft bewegt wird, so z. B. die pfeifenden Töne, welche abgeschossene Kugeln erzeugen.

§. 173, b. Die menschliche Stimme. Das Organ, in welchem die menschliche Stimme erzeugt wird, ist der Kehlkopf. Derselbe bildet das obere Ende der Luftröhre und besteht aus mehreren Knorpeln, zwischen denen sich von vorn nach hinten zwei elastische Bänder, die Stimmbänder, ausbreiten, welche durch besondere Muskeln straff gespannt werden können.[1]

Bei ruhigem Atmen liegen die Stimmbänder schlaff nebeneinander und lassen einen nach vorn sich verengenden, nach hinten sich erweiternden Spalt, die Stimmritze, zwischen sich offen, durch welchen die Luft in die Lungen einströmt, ohne die Stimmbänder in Bewegung zu setzen. Beim Sprechen oder Singen werden dagegen die Stimmbänder straff angespannt; zugleich wird die Stimmritze verengt. Infolgedessen versetzt die durch dieselbe hindurchströmende Luft die Stimmbänder in Schwingungen, welche sich der im Kehlkopfe und der Mundhöhle befindlichen Luft mitteilen. Je stärker die Stimmbänder angespannt sind, und je enger die Stimmritze ist, desto höher ist der erzeugte Ton. Das Stimmorgan hat hiernach die meiste Ähnlichkeit mit den Zungenpfeifen.

Das Artikulierte des Tones wird durch die Gestalt der Mundhöhle, die Stellung der Zunge, *der Lippen u. s. w.* hervorgebracht; worauf dasselbe beruht, werden wir im folgenden Paragraphen zeigen.

§. 174. Die Klangfarbe. Wir haben uns im vorhergehenden hauptsächlich it der Höhe der Töne und den Gesetzen beschäftigt, von welchen dieselbe bei ver- hiedenen den Ton erregenden Instrumenten abhängt. Zwei Töne, welche ganz eiche Höhe haben und auch genau gleich stark erklingen, bringen aber darum noch icht, wenn sie von verschiedenen Tonerregern abstammen, die nämliche Empfindung unserm Ohre hervor. Der Ton einer Saite hat einen anderen Klang als der on einer Pfeife; Darmsaiten klingen anders als metallene; ja selbst der Ton der imlichen Saite klingt unserm Ohr verschieden, wenn dieselbe angeschlagen, gezupft er gestrichen wird, wie das erste beim Klavier, das andere bei der Harfe, das zte bei der Geige geschieht; ebenso haben die Töne der offenen und gedeckten rgelpfeifen, der Zungenpfeifen, Posaunen, Trompeten, Hörner u. dgl. einen ver- hiedenen Klang.

Diese Verschiedenheit bei Tönen, welche gleiche Höhe und Stärke haben, bezeichnet an als **Klangfarbe**. **Die Klangfarbe eines Tones wird durch die Höhe, Stärke und Zahl der denselben begleitenden Nebentöne** (§. 168) **bedingt.** Ein Ton klingt voll und harmonisch, wenn ihm nur die ersten unter sich armonierenden Obertöne beigemengt sind; dies ist z. B. bei den Saiten der Klaviere er Fall, indem der breite Lederhammer größere Saitenteile trifft und daher nur die iefern Obertöne erzeugt; wird die Saite dagegen sehr spitz (etwa mit einem etallenen Stifte) gezupft oder sehr stark gestrichen, so klingt der Ton der Saite charf, weil jetzt auch die höheren, nicht mehr unter sich harmonierenden Obertöne ervorgerufen werden; die Flageolettöne (§. 168) sind weich, aber ohne Fülle, weil ihnen die Obertöne fast ganz fehlen, u. dgl.

Da die Nebentöne schwächer als der Hauptton, zum Teile sehr schwach sind, so ist es auch für as geübte Ohr oft schwierig, dieselben aus dem Tongemisch herauszuhören. Man hat daher für diesen Zweck besondere Apparate konstruiert, welche den Namen **Resonatoren** führen, da sie den Ton urch Resonanz (§. 181) verstärken. Dieselben bestehen aus hohlen Kugeln von Glas oder Messing Fig. 228) mit zwei einander gegenüberstehenden Ansätzen, von denen der eine, welcher ins Ohr gesteckt ird, spitzer verläuft, der andere aber abgestutzt ist. Die Durchmesser dieser Kugeln sind nach der Höhe des Tones, welchen sie verstärken sollen, sehr verschieden. Da durch jede Kugel nur ein bestimmter Ton verstärkt wird, so vernimmt man, wenn sich unter den Nebentönen derjenige befindet, welcher zu dem Resonator paßt, den man im Ohr hat, diesen Ton stark, während die andern schwach bleiben.

(Fig. 228.)



Die richtige Erklärung der Klangfarbe ist zuerst von **Helmholtz** (1858) gegeben; er bediente sich auch zuerst bei seinen Untersuchungen der Resonatoren.

Helmholtz hat ferner den Grund aufgesucht, auf welchem die verschiedenen Laute der menschlichen timme beruhen, und insbesondere für die Vokale nachgewiesen, daß der verschiedene Laut derselben rch einen oder auch zwei für jeden Vokal besondere Töne erzeugt wird, welche den Hauptton lemal begleiten, von den Nebentönen desselben aber verschieden und gänzlich unabhängig sind. elmholtz ist zu diesem Resultate nicht bloß auf dem Wege scharfer Beobachtung gelangt, sondern hat uch zuerst einen Apparat konstruiert, durch welchen die Laute der Vokale künstlich hervorgerufen erden können.

§. 175. Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Das gewöhnliche Fortpflanzungsmittel des Schalles ist die Luft.

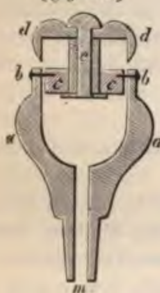
hältnis nicht statt, so modifizieren sich die Schwingungen des Blättchens und der Luft in der Pfeife gegenseitig und zwar allemal in der Art, daß dieselben vollkommen gleichzeitig erfolgen.

Bei der Trompete, dem Horn, der Posaune wirken die Lippen des Bläsers in ähnlicher Weise, wie die Zunge in einer Zungenpfeife.

Die Luft in einer Röhre kann auch durch eine in derselben befindliche Flamme des Leuchtgases oder irgend eines andern Gases zum Tönen gebracht werden, wenn zwischen der Flamme und der Röhre ein angemessenes Verhältnis stattfindet. Man bezeichnet eine solche Flamme als **singende** und eine Zusammenstellung von mehreren als **chemische Harmonika**.

Von den im vorhergehenden behandelten sind in ihrer Entstehung diejenigen Töne verschieden, welche erzeugt werden, wenn ein Luftstrom an den Rändern fester Körper vorbeigeht. Wahrscheinlich werden dieselben dadurch hervorgebracht, daß die bewegten Luftteilchen durch die Reibung an den festen Körpern, an denen sie vorübergehen, in Schwingungen geraten. Es gehören hierher die Töne, welche durch den Wind bei seinem Durchgange durch Spalten oder rundliche Öffnungen erzeugt werden, ferner die Töne, welche entstehen, wenn man mit dem Munde gegen die Schneide eines Messers oder den Rand eines Papierblattes bläst u. dgl. m.

(Fig. 227.)



Eine praktische Anwendung finden diese Töne in der **Dampfpfeife**, deren Einrichtung Fig. 227 im wesentlichen darstellt. An dem Ende einer sich bauchig erweiternden Röhre aa ist eine kreisförmige Scheibe cc angebracht und mit den Wänden der Pfeife durch einige Schrauben bb fest verbunden. Da die Scheibe einen etwas kleineren Durchmesser hat als das Ende der bauchförmigen Erweiterung, so bleibt zwischen den Wänden der letzteren und der Scheibe ein ringförmiger Spalt, durch welchen die bei m eingeblasene Luft oder der Dampf entweichen kann. Indem die Luft oder der Dampf bei seinem Austritte aus dem Spalte auf den scharf zulaufenden Rand eines hohlen Deckels dd trifft, welcher mit der Scheibe cc durch die Säule e fest verbunden ist, wird in der oben angegebenen Weise ein Ton erzeugt.

Umgekehrt müssen auch Töne entstehen, wenn ein fester Körper rasch in ruhender Luft bewegt wird, so z. B. die pfeifenden Töne, welche abgeschossene Kugeln erzeugen.

§. 173, b. Die menschliche Stimme. Das Organ, in welchem die menschliche Stimme erzeugt wird, ist der **Kehlkopf**. Derselbe bildet das obere Ende der Luftröhre und besteht aus mehreren Knorpeln, zwischen denen sich von vorn nach hinten zwei elastische Bänder, die **Stimmbänder**, ausbreiten, welche durch besondere Muskeln straff gespannt werden können.[1]

Bei ruhigem Atmen liegen die Stimmbänder schlaff nebeneinander und lassen einen nach vorn sich verengenden, nach hinten sich erweiternden Spalt, die **Stimmritze**, zwischen sich offen, durch welchen die Luft in die Lungen einströmt, ohne die Stimmbänder in Bewegung zu setzen. Beim Sprechen oder Singen werden dagegen die Stimmbänder straff angespannt; zugleich wird die Stimmritze verengt. Infolgedessen versetzt die durch dieselbe hindurchströmende Luft die Stimmbänder in Schwingungen, welche sich der im Kehlkopfe und der Mundhöhle befindlichen Luft mitteilen. Je stärker die Stimmbänder angespannt sind, und je enger die Stimmritze ist, desto höher ist der erzeugte Ton. Das Stimmorgan hat hiernach die meiste Ähnlichkeit mit den Zungenpfeifen.

Das Artikulierte des Tones wird durch die Gestalt der Mundhöhle, die Stellung der Zunge, der Lippen u. s. w. hervorgebracht; worauf dasselbe beruht, werden wir im folgenden Paragraphen zeigen.

§. 174. Die Klangfarbe. Wir haben uns im vorhergehenden hauptsächlich it der Höhe der Töne und den Gesetzen beschäftigt, von welchen dieselbe bei ver- iedenen den Ton erregenden Instrumenten abhängt. Zwei Töne, welche ganz eiche Höhe haben und auch genau gleich stark erklingen, bringen aber darum noch cht, wenn sie von verschiedenen Tonerregern abstammen, die nämliche Empfindung unserm Ohre hervor. Der Ton einer Saite hat einen anderen Klang als der n einer Pfeife; Darmsaiten klingen anders als metallene; ja selbst der Ton der mlichen Saite klingt unserm Ohr verschieden, wenn dieselbe angeschlagen, gezupft er gestrichen wird, wie das erste beim Klavier, das andere bei der Harfe, das tte bei der Geige geschieht; ebenso haben die Töne der offenen und gedeckten rgelpfeifen, der Zungenpfeifen, Posaunen, Trompeten, Hörner u. dgl. einen ver- iedenen Klang.

Diese Verschiedenheit bei Tönen, welche gleiche Höhe und Stärke haben, bezeichnet an als **Klangfarbe**. **Die Klangfarbe eines Tones wird durch die Höhe, tärke und Zahl der denselben begleitenden Nebentöne** (§. 168) **bedingt.** Ein Ton klingt voll und harmonisch, wenn ihm nur die ersten unter sich rmonierenden Obertöne beigemengt sind; dies ist z. B. bei den Saiten der Klaviere r Fall, indem der breite Lederhammer größere Saitenteile trifft und daher nur die eferen Obertöne erzeugt; wird die Saite dagegen sehr spitz (etwa mit einem tallenen Stifte) gezupft oder sehr stark gestrichen, so klingt der Ton der Saite arf, weil jetzt auch die höheren, nicht mehr unter sich harmonierenden Obertöne rvorgerufen werden; die Flageolettöne (§. 168) sind weich, aber ohne Fülle, weil nen die Obertöne fast ganz fehlen, u. dgl.

Da die Nebentöne schwächer als der Hauptton, zum Teile sehr schwach sind, so ist es auch für geübte Ohr oft schwierig, dieselben aus dem Tongemisch herauszuhören. Man hat daher für diesen eck besondere Apparate konstruiert, welche den Namen **Resonatoren** führen, da sie den Ton rch Resonanz (§. 181) verstärken. Dieselben bestehen aus hohlen Kugeln von Glas oder Messing ig. 228) mit zwei einander gegenüberstehenden Ansätzen, von denen der eine, welcher ins Ohr gesteckt rd, spitzer verläuft, der andere aber abgestutzt ist. Die Durchmesser dieser Kugeln sind nach der Höhe des Tones, welchen sie verstärken sollen, sehr verschieden. Da durch jede Kugel nur ein bestimmter Ton verstärkt wird, so vernimmt man, wenn sich unter den Nebentönen derjenige befindet, welcher zu dem Resonator paßt, den man im Ohr hat, diesen Ton stark, während die andern schwach bleiben.

(Fig. 228.)



Die richtige Erklärung der Klangfarbe ist zuerst von **Helmholtz** (1858) gegeben; er bediente sich auch zuerst bei seinen Untersuchungen der Resonatoren.

Helmholtz hat ferner den Grund aufgesucht, auf welchem die verschiedenen Laute der menschlichen immme beruhen, und insbesondere für die Vokale nachgewiesen, daß der verschiedene Laut derselben rch einen oder auch zwei für jeden Vokal besondere Töne erzeugt wird, welche den Hauptton emal begleiten, von den Nebentönen desselben aber verschieden und gänzlich unabhängig sind. elmholtz ist zu diesem Resultate nicht bloß auf dem Wege scharfer Beobachtung gelangt, sondern hat ch zuerst einen Apparat konstruiert, durch welchen die Laute der Vokale künstlich hervorgerufen erden können.

§. 175. Fortpflanzung des Schalles in der Luft. Das gewöhnliche Fortpflanzungsmittel des Schalles ist die Luft.

aber zwischen dem dritten und vierten Schwingungsknoten wieder in der nämlichen Richtung wie zwischen dem ersten und zweiten, also von b'' nach b''' hin u. s. w. statt, in ähnlicher Art, wie wir früher bei einer in aliquoten Teilen schwingenden Saite (Fig. 217, S. 260) gesehen haben, daß je zwei aufeinander folgende Abteilungen nach entgegengesetzten Richtungen schwingen.

Der Abstand von einem Schwingungsknoten zum nächstfolgenden wird eine halbe, bis zum zweitfolgenden eine ganze Wellenlänge genannt. Jede ganze Welle besteht also aus zwei nach entgegengesetzten Richtungen schwingenden Hälften. — Zwischen zwei benachbarten Schwingungsknoten befindet sich immer ein Schwingungsbauch. Derselbe steht von jedem der beiden Schwingungsknoten um eine Viertelwellenlänge ab. Zwei aufeinanderfolgende Schwingungsbäuche sind also ebenfalls um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt.

Ist eine Pfeife an einem Ende geschlossen, so bildet sich beim Tönen an diesem Ende, mag nun die eingeschlossene Luftsäule als Ganzes oder in Teilen schwingen, stets ein Schwingungsknoten, weil die Bewegung der Luft an dem geschlossenen Ende durch den Widerstand der festen Wand gehindert wird; dagegen entsteht an einem offenen Ende jedesmal ein Schwingungsbauch, da die Luft an einem solchen Ende frei hin- und herschwingen kann und wegen ihrer Verbindung mit der äußeren Luft ihre gewöhnliche Dichtigkeit beibehält. Von einem geschlossenen Ende steht daher der zunächst gelegene Schwingungsknoten stets um eine halbe Wellenlänge, von einem offenen Ende um eine Viertelwellenlänge ab.

Giebt nun eine gedeckte Pfeife ihren Grundton, so schwingt die eingeschlossene Luftsäule nach dem vorigen §. ohne Teilung (Fig. 221). **Die Länge einer gedeckten Pfeife beträgt daher ein Viertel von der Wellenlänge ihres Grundtones.**

Giebt andererseits eine offene Pfeife ihren Grundton, so entsteht in der Mitte ein Schwingungsknoten (Fig. 222). **Die Länge einer offenen Pfeife ist daher gleich der Hälfte der Wellenlänge ihres Grundtones.**

Beachten wir noch, daß zwei benachbarte Schwingungsknoten um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt sind, so ergiebt sich ferner leicht folgendes:

Schwingt die Luft in einer gedeckten Pfeife mit 1. 2. 3 . . . Schwingungsknoten (Fig. 225), so ist die Länge der Pfeife = $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{7}{4}$ . . . von der Wellenlänge des erzeugten Tones. Allgemein ist die Länge einer gedeckten Pfeife gleich einem **ungeraden Vielfachen** einer Viertelwellenlänge des erzeugten Tones.


(Fig. 226.)

Schwingt die Luft in einer offenen Pfeife mit 2. 3. 4 . . . Schwingungsknoten (Fig. 224), so ist die Länge der Pfeife = $\frac{2}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{2}$ . . . oder = $\frac{4}{4}$, $\frac{6}{4}$, $\frac{8}{4}$ . . . von der Wellenlänge des Tones. Allgemein ist **die Länge einer offenen Pfeife gleich einem geraden Vielfachen einer Viertelwellenlänge des erzeugten Tones.**

Die Lage der Schwingungsknoten und Bäuche in einer Pfeife läßt sich außer durch den im vorhergehenden § angegebenen Versuch auch noch auf die folgende Weise sichtbar machen. Die Seitenwand einer Pfeife (Fig. 226) ist an solchen Stellen, an denen Knoten und Bäuche entstehen können, mit Löchern versehen, welche durch dünne [illegible] verschlossen sind. Jede dieser Stellen ist ferner mit einem kleinen Kasten überdeckt, der einen Gasbrenner trägt und mit einer Gasleitung in Verbindung gesetzt werden kann. Beim Versuch läßt man Gas durch die Kasten strömen und zündet dasselbe an. Bläst man dann die Pfeife zum Tönen, so geraten diejenigen Flammen, welche sich an den Stellen von Knoten befinden, in Zuckungen, indem das Gas infolge der abwechselnden Verdichtung und Verdünnung, welche die Luft an den Knoten erfährt, [illegible] Druck [illegible]. Andererseits bleiben die Flammen [illegible] [illegible] eine [illegible] Bewegung

begriffen ist, die Dichtigkeit derselben sich aber kaum ändert, in Ruhe. Bei kräftigem Anblasen erlöschen die Flammen an den Schwingungsknoten.

Ein anderes Verfahren, welches die Bildung der Schwingungsknoten und -bäuche in einer tönenden Luftsäule sehr schön zeigt, ist das folgende. — Ein elastischer Stab läßt sich dadurch zum Tönen bringen, daß man ihn durch kräftiges Reiben in Longitudinalschwingungen versetzt; hält man ihn insbesondere in der Mitte fest, so entsteht in ähnlicher Weise, wie bei einer offenen Pfeife, in der Mitte ein Schwingungsknoten, während sich an den freien Enden Bäuche mit lebhafter schwingender Bewegung bilden. Verschließt man nun ein langes und weites Glasrohr an beiden Enden durch Korke und bringt dasselbe dann auf die angegebene Weise zum Tönen, so nehmen die verschließenden Korke an der schwingenden Bewegung teil und versetzen dadurch die eingeschlossene Luftsäule ebenfalls in Schwingungen, sodaß diese denselben Ton hervorbringt, wie das geriebene Glasrohr. Hierbei entstehen in der Luftsäule zahlreiche Schwingungsknoten, da der auf die obige Art erzeugte Ton ein sehr hoher ist, die Wellenlänge in einer tönenden Luftsäule aber nach dem vorigen §. um so kürzer ausfällt, je höher der Ton ist. — Hat man nun in das Glasrohr ein lockeres Pulver, etwa Korkfeile, gestreut und bringt man das Rohr dann in wagerechter Lage, nachdem das Pulver in derselben gleichmäßig verteilt worden ist, zum Tönen, so ordnet sich das letztere in zierlichen Staubfiguren an, welche die Lage der Schwingungsknoten und -bäuche deutlich erkennen lassen. Diese Figuren bezeichnet man nach Kundt, welcher dieselben zuerst (1865) dargestellt hat, als Kundtsche Staubfiguren. (S. auch §§. 177 u. 178, Anm.)

Aus dem Obigen ersieht man, wie auch bei einer Pfeife ohne Seitenöffnungen verschiedene Töne durch verschiedenes Anblasen hervorgerufen werden können. —

Im allgemeinen teilt sich die in einer Pfeife eingeschlossene Luftsäule leichter in aliquote Teile, wenn dieselbe im Verhältnis zu ihrer Länge nur eine geringe Weite hat, wie dies z. B. beim Horn der Fall ist. — Die Töne, welche bei einer offenen Pfeife durch Teilung in aliquote Teile überhaupt entstehen können, sind, wenn wir den Grundton mit $\underline{C}$ bezeichnen: $1 = \underline{C}$, $2 = C$, $3 = G$, $4 = c$, $5 = e$, $6 = g$ u. s. w.

In betreff des oben (§. 171) angeführten Hauptgesetzes über die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Länge der schwingenden Luftsäule haben wir noch anzuführen, daß, wenn man den Abstand eines Schwingungsknotens vom nächstfolgenden mißt, dieser Abstand genau dem obigen Gesetze entspricht, daß dagegen die Entfernung des dem Mundloche zunächst liegenden Schwingungsknotens von dem Mundloche sich etwas kleiner als diese Größe herausstellt. Wir werden daher annehmen müssen, daß die Dichtigkeit der schwingenden Luftsäule an dem Mundloche nicht, wie wir oben (§. 171) angegeben haben, gänzlich unverändert bleibt, sondern schon eine kleine Änderung erleidet und daher die volle Länge der schwingenden Luftsäule sich noch etwas über das Mundloch hinaus erstreckt. Die Größe dieses Unterschiedes ändert sich mit der Gestalt und Größe des Mundloches. — Auch der Abstand des Endes einer offenen Pfeife vom (nächsten) Schwingungsknoten kann nicht als ein genaues Maß für die Bestimmung der Länge der schwingenden Luftsäule dienen, da sich diese noch etwas über das freie Ende hinaus erstreckt.

§. 173, a. Zungenpfeifen. In den Zungenpfeifen wird zunächst durch einen angeblasenen Luftstrom ein elastisches Blättchen in Bewegung gesetzt, welches seine schwingende Bewegung der in der Pfeife eingeschlossenen Luftsäule mitteilt. Es gehören hierher die Pfeifen an der Orgel, welche man Schnarrwerke nennt, die kleinen blechernen Trompeten und Hörner, welche den Kindern zum Spielwerke dienen, die Klarinette u. dgl. m.

Ist der Ton, welchen das für sich allein schwingende elastische Blättchen giebt, von der Art, daß auch die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule, indem sie sich in mehr oder weniger aliquote Teile teilt, denselben Ton geben kann, so geht auch in der Verbindung beider der nämliche Ton hervor, d. h. derjenige Ton, welchen das elastische Blättchen, wenn es für sich allein schwingt, erzeugt. Findet aber ein solches Ver-

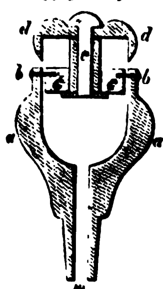
hältnis nicht statt, so modifizieren sich die Schwingungen des Blättchens und der Luft in der Pfeife gegenseitig und zwar allemal in der Art, daß dieselben vollkommen gleichzeitig erfolgen.

Bei der Trompete, dem Horn, der Posaune wirken die Lippen des Bläsers in ähnlicher Weise, wie die Zunge in einer Zungenpfeife.

Die Luft in einer Röhre kann auch durch eine in derselben befindliche Flamme des Leuchtgases oder irgend eines andern Gases zum Tönen gebracht werden, wenn zwischen der Flamme und der Röhre ein angemessenes Verhältnis stattfindet. Man bezeichnet eine solche Flamme als **singende** und eine Zusammenstellung von mehreren als **chemische Harmonika**.

Von den im vorhergehenden behandelten sind in ihrer Entstehung diejenigen Töne verschieden, welche erzeugt werden, wenn ein Luftstrom an den Rändern fester Körper vorbeigeht. Wahrscheinlich werden dieselben dadurch hervorgebracht, daß die bewegten Luftteilchen durch die Reibung an den festen Körpern, an denen sie vorübergehen, in Schwingungen geraten. Es gehören hierher die Töne, welche durch den Wind bei seinem Durchgange durch Spalten oder rundliche Öffnungen erzeugt werden, ferner die Töne, welche entstehen, wenn man mit dem Munde gegen die Schneide eines Messers oder den Rand eines Papierblattes bläst u. dgl. m.

(Fig. 227.)



Eine praktische Anwendung finden diese Töne in der **Dampfpfeife**, deren Einrichtung Fig. 227 im wesentlichen darstellt. An dem Ende einer sich bauchig erweiternden Röhre aa ist eine kreisförmige Scheibe cc angebracht und mit den Wänden der Pfeife durch einige Schrauben bb fest verbunden. Da die Scheibe einen etwas kleineren Durchmesser hat als das Ende der bauchförmigen Erweiterung, so bleibt zwischen den Wänden der letzteren und der Scheibe ein ringförmiger Spalt, durch welchen die bei m eingeblasene Luft oder der Dampf entweichen kann. Indem die Luft oder der Dampf bei seinem Austritte aus dem Spalte auf den scharf zulaufenden Rand eines hohlen Deckels dd trifft, welcher mit der Scheibe cc durch die Säule e fest verbunden ist, wird in der oben angegebenen Weise ein Ton erzeugt.

Umgekehrt müssen auch Töne entstehen, wenn ein fester Körper rasch in ruhender Luft bewegt wird, so z. B. die pfeifenden Töne, welche abgeschossene Kugeln erzeugen.

§. 173, b. Die menschliche Stimme. Das Organ, in welchem die menschliche Stimme erzeugt wird, ist der **Kehlkopf**. Derselbe bildet das obere Ende der Luftröhre und besteht aus mehreren Knorpeln, zwischen denen sich von vorn nach hinten zwei elastische Bänder, die **Stimmbänder**, ausbreiten, welche durch besondere Muskeln straff gespannt werden können.'

Bei ruhigem Atmen liegen die Stimmbänder schlaff nebeneinander und lassen einen nach vorn sich verengenden, nach hinten sich erweiternden Spalt, die **Stimmritze**, zwischen sich offen, durch welchen die Luft in die Lungen einströmt, ohne die Stimmbänder in Bewegung zu setzen. Beim Sprechen oder Singen werden dagegen die Stimmbänder straff angespannt; zugleich wird die Stimmritze verengt. Infolgedessen versetzt die durch dieselbe hindurchströmende Luft die Stimmbänder in Schwingungen, welche sich der im Kehlkopfe und der Mundhöhle befindlichen Luft mitteilen. Je stärker die Stimmbänder angespannt sind, und je enger die Stimmritze ist, desto höher ist der erzeugte Ton. Das Stimmorgan hat hiernach die meiste Ähnlichkeit mit den Zungenpfeifen.

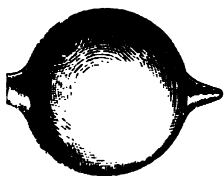
Das [illegible] des Tones wird durch die Gestalt der Mundhöhle, die Stellung der Zunge, der [illegible] hervorgebracht, worauf [illegible] wir im folgenden Paragraphen zeigen.

§. 174. **Die Klangfarbe.** Wir haben uns im vorhergehenden hauptsächlich it der Höhe der Töne und den Gesetzen beschäftigt, von welchen dieselbe bei ver- jiedenen den Ton erregenden Instrumenten abhängt. Zwei Töne, welche ganz eiche Höhe haben nnd auch genau gleich stark erklingen, bringen aber darum noch icht, wenn sie von verschiedenen Tonerregern abstammen, die nämliche Empfindung ı unserm Ohre hervor. Der Ton einer Saite hat einen anderen Klang als der on einer Pfeife; Darmsaiten klingen anders als metallene; ja selbst der Ton der ämlichen Saite klingt unserm Ohr verschieden, wenn dieselbe angeschlagen, gezupft der gestrichen wird, wie das erste beim Klavier, das andere bei der Harfe, das tte bei der Geige geschieht; ebenso haben die Töne der offenen und gedeckten)rgelpfeifen, der Zungenpfeifen, Posaunen, Trompeten, Hörner u. dgl. einen ver- hiedenen Klang.

Diese Verschiedenheit bei Tönen, welche gleiche Höhe und Stärke haben, bezeichnet an als **Klangfarbe**. **Die Klangfarbe eines Tones wird durch die Höhe, tärke und Zahl der denselben begleitenden Nebentöne (§. 168) bedingt.** Ein Ton klingt voll und harmonisch, wenn ihm nur die ersten unter sich rmonierenden Obertöne beigemengt sind; dies ist z. B. bei den Saiten der Klaviere : Fall, indem der breite Lederhammer größere Saitenteile trifft und daher nur die feren Obertöne erzeugt; wird die Saite dagegen sehr spitz (etwa mit einem :tallenen Stifte) gezupft oder sehr stark gestrichen, so klingt der Ton der Saite arf, weil jetzt auch die höheren, nicht mehr unter sich harmonierenden Obertöne rvorgerufen werden; die Flageolettöne (§. 168) sind weich, aber ohne Fülle, weil nen die Obertöne fast ganz fehlen, u. dgl.

Da die Nebentöne schwächer als der Hauptton, zum Teile sehr schwach sind, so ist es auch für s geübte Ohr oft schwierig, dieselben aus dem Tongemisch herauszuhören. Man hat daher für diesen weck besondere Apparate konstruiert, welche den Namen **Resonatoren** führen, da sie den Ton irch Resonanz (§. 181) verstärken. Dieselben bestehen aus hohlen Kugeln von Glas oder Messing Fig. 228) mit zwei einander gegenüberstehenden Ansätzen, von denen der eine, welcher ins Ohr gesteckt ird, spitzer verläuft, der andere aber abgestutzt ist. Die Durchmesser dieser Kugeln sind nach der Höhe des Tones, welchen sie verstärken sollen, sehr verschieden. Da durch jede Kugel nur ein bestimmter Ton verstärkt wird, so vernimmt man, wenn sich unter den Nebentönen derjenige befindet, welcher zu dem Resonator paßt, den man im Ohr hat, diesen Ton stark, während die andern schwach bleiben.

(Fig. 228.)



Die richtige Erklärung der Klangfarbe ist zuerst von **Helmholtz** (1858) gegeben; er bediente sich auch zuerst bei seinen Untersuchungen der Resonatoren.

Helmholtz hat ferner den Grund aufgesucht, auf welchem die verschiedenen Laute der menschlichen timme beruhen, und insbesondere für die Vokale nachgewiesen, daß der verschiedene Laut derselben rch einen oder auch zwei für jeden Vokal besondere Töne erzeugt wird, welche den Hauptton emal begleiten, von den Nebentönen desselben aber verschieden und gänzlich unabhängig sind. :lmholtz ist zu diesem Resultate nicht bloß auf dem Wege scharfer Beobachtung gelangt, sondern hat ch zuerst einen Apparat konstruiert, durch welchen die Laute der Vokale künstlich hervorgerufen :rden können.

§. 175. **Fortpflanzung des Schalles in der Luft.** Das gewöhnliche ortpflanzungsmittel des Schalles ist die Luft.

Wenn man unter dem Recipienten einer Luftpumpe eine kleine Glocke aufhängt und dieselbe zum Tönen bringt, so wird der Klang derselben um so schwächer vernommen, je stärker man die Luft verdünnt. Im leeren Raume pflanzt sich der Schall nicht fort.

Indem der tönende Körper eine ganze Schwingung, einen Hin- und Hergang, vollendet, und so auf der einen Seite die benachbarte Luft, auf welche er stößt, aus der Stelle getrieben und verdichtet wird, an der andern Seite aber die hinter ihm liegende Luft sich ausdehnt und verdünnt wird, entsteht in der den tönenden Körper zunächst umgebenden Luftschicht abwechselnd eine Verdichtung und Verdünnung. Indem nun in dieser Luftschicht das gestörte Gleichgewicht nicht bloß hergestellt, sondern vermöge des Trägheitsgesetzes noch überschritten wird, bildet sich um die erste eine zweite Schicht, um diese eine dritte Schicht von abwechselnd verdichteter und verdünnter Luft, in ähnlicher Art wie bei den Schwingungen, welche die Luft in einer tönenden Pfeife macht, wenn die in derselben eingeschlossene Luftsäule in aliquoten Teilen schwingt, — nur mit dem Unterschiede, daß die abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, welche den Schall fortpflanzen, von einer Schicht zur andern fortschreiten, sich also immer weiter ausbreiten und von dem tönenden Körper entfernen, weshalb man dieselben auch **fortschreitende** nennt, während die einen Schall erzeugenden Schwingungen, da sie in dem nämlichen begrenzten Raume geschehen, **stehende** genannt werden.

Ein anschauliches Bild von der sich immer mehr ausbreitenden Bewegung in der Luft, durch welche der Schall fortgepflanzt wird, giebt uns die fortschreitende Bewegung der Wellen im Wasser. Während aber diese sich kreisförmig in derselben Ebene ausbreiten, erweitern sich die Schallwellen nach allen Richtungen im Raume und hüllen, wie Kugelschichten, den tönenden Körper als Mittelpunkt ein.

So wie jede ganze Welle im Wasser aus einem erhöhten und einem vertieften Teile besteht, so unterscheidet man an der Schallwelle den **verdichteten** und den **verdünnten** Teil und nennt den ersteren nach der Analogie der Wellen im Wasser den **Wellenberg** und den letzteren das **Wellenthal**.

Bezeichnen wir die Länge der fortschreitenden Welle mit λ, die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde mit n, so ist der Weg, welchen die Schallwelle in einer Sekunde zurücklegt, da die Wellenbewegung in der Zeit, in welcher der tönende Körper eine Schwingung vollendet, stets um eine ganze Wellenlänge fortschreitet, $= n\lambda$. Bezeichnen wir diesen Weg, mit anderen Worten die Fortflanzungsgeschwindigkeit des Schalles mit c, so erhalten wir die Gleichung $c = n\lambda$ und hieraus für die Länge der fortschreitenden Welle den Wert

$$\lambda = \frac{c}{n}.$$

Die **Länge der Wellen**, welche einen Ton fortflanzen, ist also direkt proportional der Geschwindigkeit des Schalles und umgekehrt proportional der Schwingungszahl des Tones. Bei derselben Schallgeschwindigkeit sind die Wellen eines Tones um so kurzer, je höher der Ton ist.

Über die Berechnung der Wellenlänge siehe die Anm. d. folgenden §.

§. 176, a. **Geschwindigkeit des Schalles in der Luft.** Die Geschwindigkeit, mit welcher der Schall in der Luft sich fortpflanzt, ist, verglichen mit der des Lichtes, eine sehr mäßige, wie eine Menge b[illegible] Erfahrungen lehrt. So vernimmt man

von einem in der Entfernung einiger tausend Schritte abgefeuerten Schießgewehre den Knall erst mehrere Sekunden später, als man den Blitz gewahrt. — Die Geschwindigkeit des Schalles ist für starke und schwache, für hohe und tiefe Töne dieselbe, wie schon daraus hervorgeht, daß bei einer Musik, welche man in der Ferne hört, die Harmonie nicht gestört wird, während dieselbe doch ganz aufgehoben werden müßte, wenn z. B. die höheren Töne früher zum Ohre gelangten als die tieferen.

Die Geschwindigkeit des Schalles ist ferner von der Dichtigkeit der Luft oder, was dasselbe sagen will, von dem Barometerstande (§. 66) unabhängig; sie wächst dagegen mit der Temperatur. Der Schall bewegt sich in wärmerer Luft etwas schneller als in kälterer. Außerdem ist auch die Richtung des Windes auf die Geschwindigkeit des Schalles von Einfluß. Man nimmt gewöhnlich an, daß der Wind den Schall um seine eigene Geschwindigkeit beschleunigt oder verzögert, wenn er in der Richtung weht, in welcher sich der Schall fortpflanzt, oder wenn er die entgegengesetzte Richtung hat; jedoch fehlt es zur Zeit noch an entscheidenden Versuchen, durch welche sich die Größe dieses Einflusses direkt nachweisen ließe.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in der Luft sind zu wiederholten Malen sehr genaue Versuche in den verschiedensten Gegenden der Erde angestellt worden. Bei diesen Versuchen hat man den geradlinigen Abstand zweier einige tausend Meter voneinander abstehenden Punkte gemessen, an dem einen mehrmals nacheinander ein Geschütz abgefeuert und an dem anderen Orte die Zwischenzeit zwischen der jedesmaligen Wahrnehmung des Blitzes und des zugehörigen Knalles beobachtet. Man hat auf diese Art gefunden, daß der Schall sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegt und bei der Temperatur von 0° beinahe 333 Meter in der Sekunde durchläuft.

Um den Einfluß des Windes und anderer Nebenumstände auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles von einem Stationspunkte zum andern zu eliminieren, pflegt man auf beiden Punkten nahezu gleichzeitig Geschütze abzufeuern, an jedem die Zwischenzeit zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Knalles des am andern Stationsorte abgefeuerten Geschützes zu beobachten und aus diesen Beobachtungen das Mittel zu nehmen.

Entscheidende Versuche über die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft sind zuerst von den Mitgliedern der Pariser Akademie (1738) angestellt worden.

Bezeichnen wir die Geschwindigkeit des Schalles bei 0° mit c, die Geschwindigkeit bei t° mit c', so ist, wie wir hier nicht näher beweisen können,

$$c' = c\sqrt{1 + 0{,}00366\, t},$$

wo 0,00366 den Ausdehnungskoeffizienten der Luft (§. 231) bedeutet. Umfaßt t eine geringe Anzahl von Graden, so kann man annähernd setzen (Arithm. §. 188, b, Aufl. 12.)

$$c' = c\,(1 + 0{,}00183\, t).$$

Eine Zu- oder Abnahme der Temperatur von 1° vermehrt oder vermindert also die Geschwindigkeit bei 0° um nahezu 0,6 m.

Die Kenntnis der Schallgeschwindigkeit in der Luft setzt uns auch in den Stand, die Länge der Wellen, welche einen Ton fortpflanzen, aus der in der Anmerkung des vorigen §. entwickelten Gleichung $\lambda = \frac{c}{n}$ zu berechnen, wenn uns noch die Schwingungszahl des Tones gegeben ist. Nach §. 166, Anm. kommen z. B. dem tiefsten überhaupt noch wahrnehmbaren Tone ungefähr 14, dem höchsten 40000 Schwingungen zu. Zufolge der obigen Gleichung beträgt daher die Länge der Schallwellen in der Luft (bei 0°) für den ersteren beinahe 24 m, für den letzteren ungefähr 8 mm.

§. 176, b. Fortsetzung. Durch die Kenntnis der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft werden wir auch in den Stand gesetzt, die Länge der fortschreitenden Luftwellen, durch welche der Schall fortgepflanzt wird, mit der Wellenlänge der in einer tönenden Pfeife eingeschlossenen Luftsäule zu vergleichen. Wir wählen als Beispiel den Ton a der gewöhnlichen Stimmgabeln, welchen auch eine beiderseits offene Pfeife von (ungefähr) 38 cm Länge bei der einfachsten Schwingungsart giebt, wenn die in derselben eingeschlossene Luftsäule mit einem Schwingungsknoten in der Mitte schwingt (vergl. §. 171, Fig. 222). Der nämliche Ton geht, wie wir oben (§. 172) gesehen haben, auch hervor, wenn wir uns — was für die folgende Vergleichung noch mehr Bequemlichkeit gewährt — eine Pfeife von der doppelten, also von 76 cm Länge vorstellen und annehmen, daß in derselben die Luft mit zwei Schwingungsknoten schwingt. Der in dieser Pfeife eingeschlossenen und in der angegebenen Art schwingenden Luftsäule haben wir oben den Namen einer *ganzen Welle* beigelegt, woraus sich dann für diese ganze Welle die Länge von ungefähr 76 cm ergiebt. — Nach §. 166 macht nun die Luft in der Pfeife (ungefähr) 440 Schwingungen in der Sekunde (bei 0°). Da aber, wie wir im vorhergehenden §. gesehen haben, die den Schall in der Luft außerhalb der Pfeife fortpflanzenden Wellen (bei 0°) 333 m in der Sekunde zurücklegen und in einer Sekunde 440 Schwingungen erfolgen, so muß die Länge dieser letzteren Wellen offenbar den 440. Teil von 333 m, d. h. 76 cm betragen. Es haben daher in dem behandelten Beispiele die fortschreitenden Wellen, durch welche der Schall in der Luft fortgepflanzt wird, dieselbe Länge wie die stehenden Wellen in der tönenden Pfeife, durch welche der Schall erzeugt wird.

Die nämliche Beziehung muß aber auch bei jeder andern Pfeife stattfinden, welches auch immer die Länge derselben oder die Teilung der in derselben schwingenden Luftsäule sein mag, da in demselben Verhältnis die Zahl der Schwingungen wächst, in welchem die Länge der schwingenden Luftsäule abnimmt. Es geht daher aus der vorstehenden Entwicklung das wichtige Gesetz hervor:

In einer tönenden Pfeife haben die den Schall erzeugenden stehenden Luftwellen die nämliche Länge wie die fortschreitenden Wellen, durch welche der Schall in der Luft fortgepflanzt wird.

Vermöge dieses Gesetzes kann die Schwingungszahl des Tones, welchen eine Pfeife giebt, aus der [illegible] des Schalles in der Luft und der Länge der Pfeife bestimmt werden. Nach der [illegible] §. 1[illegible] ist nämlich die gesuchte Schwingungszahl $n = \frac{c}{\lambda}$, wo c die Schallgeschwindigkeit [illegible] Wellenlänge bedeutet. Die Wellenlänge λ aber ergiebt sich leicht aus der Länge der Pfeife, [illegible] §. 1[illegible] die Wellenlänge des Grundtones bei einer offenen Pfeife der doppelten, bei einer [illegible] Pfeife der vierfachen Länge der Pfeife gleich ist. Den tiefsten in der Musik gebräuchlichen Ton [illegible] Orgelpfeife von 16 Pariser Fuß oder 5,2 m. Es ist also die Wellenlänge [illegible] m, die Schwingungszahl desselben also nach der obigen Gleichung = 16. — [illegible] leicht aus der Schallgeschwindigkeit und der Schwingungszahl eines Tones [illegible] berechnen, welche diesen Ton giebt.

[illegible] vorhergehenden §. wächst die Geschwindigkeit des Schalles bei einer Temperatur- [illegible] um 2 pro mille. In dem nämlichen Verhältnisse muß auch bei einer [illegible]zahl zunehmen, indem bei gegebener Wellenlänge die Fortpflanzungs-

ndigkeit offenbar der Schwingungszahl proportional ist. Bei fortgesetztem Blasen erhöht sich er Ton einer Pfeife ein wenig infolge der Erwärmung der in derselben eingeschlossenen Luftsäule. Wenn ein Beobachter und ein tönender Körper während der Ausbreitung des Schalles in der ch nähern oder voneinander entfernen, so müssen auch die Wellenberge das Ohr in rascherer oder merer Folge treffen, als wenn beide, der Beobachter und der tönende Körper, in Ruhe sind. ß daher im ersteren Falle ein Ton für die Wahrnehmung des Beobachters sich etwas erhöhen, tern erniedrigen, was zuerst (1842) von Doppler hervorgehoben und weiterhin durch Versuche r Eisenbahn bestätigt worden ist.

*§. 177. **Geschwindigkeit des Schalles in Gasen.** Das zu Ende des rgehenden §. angeführte Gesetz, daß die stehenden Schallwellen in einer tönenden e dieselbe Länge haben, wie die den Schall fortpflanzenden Wellen in der Luft außerhalb der Pfeife, giebt uns, da dasselbe nicht bloß für atmosphärische Luft, sondern auch für alle anderen Gase gilt, ein geeignetes Mittel, um auch für andere Gase die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in denselben zu bestimmen. Zu diesem Zwecke wird ein weites Gefäß A (Fig. 229) mit der zu prüfenden Gasart gefüllt und in dasselbe eine Pfeife B luftdicht so eingesenkt, daß das Mundloch C sich innerhalb des Gefäßes befindet. Der aus dem Gefäße hervorragende Teil der Pfeife ist mit einem Hahne D versehen und am Ende mit einer Blase E verbunden, welche mit der nämlichen Gasart gefüllt ist. Wird nun nach Öffnung des Hahnes auf die Blase ein Druck ausgeübt und so die Pfeife zum Tönen gebracht und die Höhe dieses Tones durch Vergleichung mit einem Monochord genau bestimmt, so giebt das Verhältnis zwischen der Schwingungszahl dieses Tones und des Tones, welchen die Pfeife giebt, wenn der ganze Apparat mit atmosphärischer Luft t ist, zugleich das Verhältnis der Geschwindigkeiten an, mit denen sich der l in der angewendeten Gasart und in der atmosphärischen Luft fortpflanzt. ämlich beide Töne in der nämlichen Pfeife entstehen und folglich die Schall in beiden Fällen eine gleiche Länge haben, (vorausgesetzt, daß beidemal sich n der Mitte ein Schwingungsknoten bildet), so müssen sich offenbar die von Schallwellen in gleichen Zeiten zu durchlaufenden Wege wie die Schwingungs verhalten.

(Fig. 229.)



Derartige mit vollkommneren Apparaten ausgeführte Versuche haben zu dem nis geführt, daß die Geschwindigkeit des Schalles im Wasserstoffgase größer n allen anderen Gasen und zwar beinahe viermal so groß als in der phärischen Luft ist.

Für gleich hohe Töne ist folglich auch die Wellenlänge im Wasserstoffgase beinahe viermal so ls in der atmosphärischen Luft.

Zur Vergleichung der Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Gasen eignen sich auch vor- die Kundtschen Staubfiguren, deren Darstellung schon in der Anmerkung zu §. 172 r beschrieben worden ist. Man füllt zu dem Zweck ein und dasselbe Glasrohr nach einander

mit den zu untersuchenden Gasen und erzeugt jedesmal in dem Rohre die Staubfiguren. Da bei diesen Versuchen die Figuren immer durch denselben Ton, nämlich den des geriebenen Glasrohres hervorgerufen werden, also die Schwingungszahl stets dieselbe ist, so verhalten sich die Geschwindigkeiten in den verschiedenen Gasen wie die in denselben gebildeten Wellenlängen. Die Wellenlänge aber ergiebt sich bei jedem Versuche leicht aus dem Abstande zweier benachbarter Schwingungsknoten.

***§. 178. Fortpflanzung des Schalles in festen und flüssigen Körpern.** Der Schall wird nicht bloß durch luftförmige, sondern auch durch flüssige und feste Körper fortgepflanzt, und zwar insbesondere durch letztere bei weitem stärker als durch die Luft, wie viele bekannte Erfahrungen lehren. So werden z. B. der Donner sehr entfernter Geschütze, die Tritte in der Ferne marschierender Truppen, welche durch die Luft nicht mehr vernommen werden, noch gehört, wenn man das Ohr an die Erde legt. — Wird eine Taschenuhr an das eine Ende eines viele Meter langen Stabes gehalten, so vernimmt man das Ticken der Uhr sehr deutlich, wenn man das Ohr an das andere Ende des Stabes hält.

Um die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher sich der Schall durch feste Körper fortpflanzt, läßt sich ein ähnliches Verfahren anwenden, wie dasjenige, welches wir oben in Hinsicht der Gase beschrieben haben. Man versetzt nämlich Stäbe aus verschiedenen Substanzen durch kräftiges Reiben, etwa mit einem mit Kolophonium bestreuten wollenen Lappen, in longitudinale Schwingungen und bestimmt die Höhe des auf diese Art erzeugten Tones. Hält man dabei jedesmal den Stab in der Mitte fest, so bildet sich bei der einfachsten Schwingungsart, ähnlich wie in einer offenen Pfeife, wenn diese ihren Grundton giebt (§. 171), nur in der Mitte ein Schwingungsknoten. Die Länge des Stabes ist dann gleich der halben Länge der stehenden Schallwellen, welche den Ton in dem Stabe erzeugen (§. 172), und infolgedessen auch der fortschreitenden Wellen, welche den Schall in dem Stabe fortpflanzen (§. 176. b). Es zeigt daher das Verhältnis zwischen der Schwingungszahl des Tones, welchen der Stab giebt, und des Tones, welchen eine offene Pfeife von gleicher Länge giebt, zugleich das Verhältnis der Geschwindigkeit des Schalles in dem festen Körper zu der Geschwindigkeit des Schalles in der Luft an. Aus solchen Versuchen hat sich ergeben, daß der Schall durch feste Körper nicht bloß stärker, sondern auch weit schneller als durch die Luft fortgepflanzt wird.

Daß der Schall durch das Wasser fortgepflanzt wird, läßt sich schon daraus schließen, daß Fische und andere im Wasser lebende Tiere mit Gehörwerkzeugen versehen sind, und wird [illegible] durch die bekannte Erfahrung, daß abgerichtete Fische durch den Ton einer Glocke oder Pfeife herbeigelockt werden können. Nach direkten Versuchen mit einer ins Wasser eingesenkten Glocke, deren Ton in einer genau bestimmten Entfernung gehört wurde, pflanzt sich der Schall durch das Wasser langsamer als durch feste Körper, aber [illegible] schneller als in der Luft fort.

[illegible] im Wasser [illegible] so groß als in [illegible]

[illegible] Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles [illegible] Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles [illegible] 11 bis 17 mal [illegible]

Nach Versuchen, welche im Genfer See angestellt worden sind, beträgt die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser ungefähr 1435 m.

Die Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern läßt sich auch mit Hülfe der Kundtschen Staubfiguren (§. 172, Anm.) in ähnlicher Weise mit derjenigen in der Luft vergleichen, wie wir dies schon in der Anmerkung des vorigen §. betreffs der Geschwindigkeit des Schalles in Gasen gesehen haben. Zunächst müssen sich, da das Glasrohr und die eingeschlossene Luftsäule den nämlichen Ton geben, die Geschwindigkeiten des Schalles im Glase und in der Luft zu einander verhalten, wie die Wellenlänge des Tones im Glasrohr zur Wellenlänge in der eingeschlossenen Luft. Versetzt man nun das Glasrohr auf die oben angegebene Weise in Longitudinalschwingungen, sodaß sich nur in der Mitte ein Schwingungsknoten bildet, so ist die Länge des Rohres gleich der halben Länge der Schallwellen, welche den Ton im Glase fortpflanzen. Die eingeschlossene Luftsäule teilt sich aber dann, wie die Staubfiguren zeigen, in beinahe 17 halbe Wellenlängen. Die Geschwindigkeit des Schalles im Glase ist demnach beinahe 17 mal größer als in der Luft. — Um auch die Schallgeschwindigkeit in anderen festen Körpern als Glas durch die Staubfiguren mit derjenigen in der Luft vergleichen zu können, hat Kundt dem Apparate zur Erzeugung der Figuren die folgende Einrichtung gegeben, welche zugleich den Vorteil bietet, daß sich die Figuren schärfer und deutlicher darstellen lassen. Durch den einen der Korke, welche das weite Glasrohr verschließen, ist ein dünner Stab aus demjenigen Stoffe, in welchem die Geschwindigkeit bestimmt werden soll, gesteckt. Derselbe trägt an dem inneren Ende eine Korkscheibe, welche einen etwas kleineren Durchmesser als das weite Glasrohr besitzt. Bei einem Versuche darf diese Korkscheibe das äußere Glasrohr an keiner Stelle berühren. Wird dann der Stab durch Reiben zum Tönen gebracht, so versetzt die am inneren Ende befindliche Korkscheibe die eingeschlossene Luftsäule ebenfalls in Schwingungen.

§. 179. Stärke des Schalles. In Hinsicht der Gesetze, durch welche die Stärke des Schalles bedingt wird, berücksichtigen wir bloß den Schall, welcher durch die atmosphärische Luft zu unserm Ohre gelangt.

Der Schall wird stärker vernommen, wenn er in dichter, als wenn er in dünner Luft erregt wird, weil eine dichtere Luftwelle offenbar einen stärkeren Stoß auf das Ohr, insbesondere das Trommelfell ausübt, als eine dünnere. In der dünnen Luft auf hohen Bergen müssen daher die Menschen mit Anstrengung laut sprechen, wenn sie verstanden sein wollen; in der verdichteten Luft unter der Taucherglocke dürfen dieselben nur leise sprechen, wenn ihre Stimme nicht wie lautes Rufen vernommen werden soll. Der Schall ist ferner um so stärker, je größer die schwingende Fläche des tönenden Körpers ist, und je größer die Exkursionen derselben sind, weil in beiden Fällen eine größere Luftmasse in Bewegung gesetzt, also auch eine stärkere Verdichtung bewirkt wird.

Der Schall pflanzt sich am stärksten in der Richtung fort, in welcher er erregt wird, so z. B. die Stimme eines Sprechenden, der Knall eines abgefeuerten Geschützes u. dgl. Durch den Wind wird der Schall im allgemeinen geschwächt, besonders in der Richtung, welche der Richtung des Windes entgegengesetzt ist.

Mit der Entfernung nimmt die Stärke des Schalles ab und zwar im *quadratischen Verhältnisse derselben*, wie sowohl aus der Analogie mit dem Lichte als auch aus allgemeinen mathematischen Principien hervorgeht. Dieses Gesetz gilt jedoch nur, wenn die Schallwellen sich in der Luft frei ausbreiten können; ist die Luft in eine Röhre eingeschlossen, so erleidet der Schall eine viel geringere Schwächung mit der Entfernung als bei unbehinderter Ausbreitung. Man macht hiervon eine nützliche Anwendung in größeren Gebäuden, indem man Räume, die weit von einander

entfernt liegen, durch blecherne Röhren verbindet und so die wechselseitige Unterredung zwischen Personen in den getrennten Räumen ermöglicht.

Geht der Schall aus einem Mittel in ein anderes über, so erleidet derselbe eine Schwächung, welche größer ist bei dem Übergange aus dem dünnern ins dichtere Mittel, z. B. aus dünnerer Luft in dichtere, aus der Luft in Wasser, als bei dem umgekehrten Übergange. Der Schall dringt besser vom Thal zum Gipfel des Berges hinauf als vom Berge ins Thal hinab.

Geschützesdonner ist in vielen Fällen auf 20 und mehr Meilen gehört worden, ohne Zweifel nicht bloß infolge der Fortpflanzung durch die Luft, sondern auch durch den Erdboden. — Auch der heftigste Gewitterdonner wird nur auf eine Entfernung von 2 bis 3 Meilen vernommen. — Eine kräftige Mannesstimme kann noch auf die Entfernung von 250—300 m verstanden werden.

In der Nacht wird im allgemeinen der Schall weiter gehört als am Tage, teils wegen des am Tage beständig stattfindenden Aufsteigens der wärmeren untern Luftschichten, welche auf dem durch die Sonne erhitzten Erdboden lagern, und des Herabsinkens der oberen kälteren Schichten, teils auch weil die Empfindlichkeit des Ohres sich dadurch steigert, daß in der Dunkelheit der Nacht das Auge ruht.

Nach Versuchen von Tyndall (1873) pflanzt sich der Schall in trüber, mit Nebel, Wolken oder Regen erfüllter Luft von gleichartiger Beschaffenheit stärker fort als in klarer Luft; beim Durchgange durch abwechselnde Schichten von trüber und klarer Luft wird dagegen der Schall bedeutend geschwächt.

§. 180. **Zurückwerfung des Schalles.** Wenn die Schallwellen bei ihrer Ausbreitung in der Luft auf einen in derselben befindlichen Körper treffen, so werden sie zurückgeworfen. Ist die Richtung der Schallwellen auf der zurückwerfenden Fläche senkrecht, so werden sie auch in derselben Richtung zurückgeworfen; fallen sie dagegen unter einem schiefen Winkel auf, so werden sie unter dem nämlichen Winkel an der andern Seite zurückgeworfen, wie aus den Gesetzen der Wellenbewegung überhaupt (vergl. oben §. 57 und weiter unten §. 197, Anm.) hervorgeht.

Wenn das Ohr von der zurückwerfenden Fläche nur wenig entfernt ist, so vermag es bei der bedeutenden Geschwindigkeit des Schalles den zurückgeworfenen Schall nicht von dem direkt ankommenden zu unterscheiden. Der erstere fällt fast ganz mit dem letzteren zusammen und bewirkt daher eine Verstärkung desselben. Dieses ist z. B. bei jedem in einer mäßig großen Stube erregten und von den Wänden derselben reflektierten Schalle der Falle. Es wird daher ein Sprechender in einem Zimmer leichter als im Freien verstanden, wozu auch die Resonanz der Wände des Zimmers (vgl. den folg. §.) beiträgt.

Befindet sich die zurückwerfende Wand in größerer Entfernung von dem Ohre, so kann es geschehen, daß der reflektierte Schall zum Teil, aber nicht mehr ganz mit dem direkt ankommenden zusammenfällt und daher denselben teils verstärkt, teils verlängert, wodurch der Nachhall entsteht.

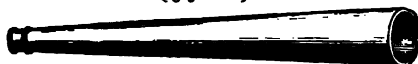
Ist die reflektierende Wand aber so weit vom Ohre entfernt, daß der zurückgeworfene Schall von dem direkt anlangenden deutlich unterschieden werden kann, so entsteht der Wiederhall oder das Echo. — Man kann ungefähr annehmen, daß das Ohr in der Sekunde 9 Töne zu unterscheiden vermag. Soll also der reflektierte Schall von dem direkt ankommenden deutlich unterschieden werden, so muß er $^1/_9$ Sekunde später am Ohr anlangen als jener. Wenn daher der Schall von dem Hörenden

ausgeht, so muß die reflektierende Wand, wenn ein Echo entstehen soll, wenigstens so weit von demselben entfernt sein, daß der Schall zum Hin- und Hergange $1/9$ Sekunde braucht. Nun durchläuft aber der Schall bei 0° in einer ganzen Sekunde 333, also in $1/9$ Sekunde 37 m, wofür wir, da es schwer hält, 9 Laute in der Sekunde deutlich zu unterscheiden, auch der Schall in wärmerer Luft sich rascher als bei 0° bewegt, in runder Zahl 40 m setzen wollen. Da der Schall diesen Weg sowohl nach der reflektierenden Wand hin als von derselben zurück zu machen hat, so ergeben sich hieraus 20 m als die kleinste Entfernung der reflektierenden Wand von dem Sprechenden, wenn ein Echo noch mit Sicherheit vernommen werden soll.

Aus den Gesetzen der Zurückwerfung des Schalles ergiebt sich auch leicht die Erklärung der sogenannten Flüstergalerieen oder Sprachgewölbe. In Zimmern oder Gebäuden mit gewölbten Decken ist es nämlich nicht selten der Fall, daß das an einer bestimmten Stelle leise Gesprochene an einer andern ziemlich entfernten Stelle deutlich verstanden wird. Die Erscheinung erklärt sich dadurch, daß die von dem einen Ende ausgehenden Schallwellen von dem Gewölbe so reflektiert werden, daß sie sich, wenn nicht sämtlich, doch größtenteils in dem andern Punkte vereinigen.

Besondere Vorrichtungen, welche auf der Zurückwerfung des Schalles beruhen, sind das Sprachrohr (Fig. 230) und das Hörrohr (Fig. 231). Bei dem ersteren, welches aus einer kegelförmigen Röhre besteht, wird der am engeren, mit einem

(Fig. 230.)



(Fig. 231.)



Mundstück versehenen Ende erregte Schall von den Wänden des Rohres teils zusammengehalten, teils so zurückgeworfen, daß die Schallwellen ziemlich parallel mit der Achse des Rohres austreten und daher am stärksten in dieser Richtung fortgepflanzt werden.

Das Hörrohr hat gerade die umgekehrte Einrichtung. Die von dem weiteren Ende aufgefangenen Schallwellen werden nach dem engeren Ende hin reflektiert und von hier durch ein gebogenes Rohr dem Ohre zugeführt.

Man unterscheidet ein- und mehrsilbige Echos. Ein dreisilbiges Echo z. B. wiederholt die drei zuletzt gesprochenen Silben und erfordert natürlich eine dreimal größere Entfernung der reflektierenden Wand als ein einsilbiges. — Übrigens leuchtet von selbst ein, daß die Zahl der Silben, welche ein Echo wiederholt, nicht bloß von der Entfernung der reflektierenden Wand, sondern auch davon abhängt, in wie rascher Folge die Silben nacheinander ausgesprochen werden.

Man unterscheidet ferner einfache und mehrfache Echos, je nachdem ein Schall nur ein- oder mehrmals wiederholt wird. Ein mehrfaches Echo entsteht, wenn der Schall von mehreren Wänden in verschiedenen Entfernungen reflektiert wird und daher die zurückgeworfenen Wellen bei dem Ohre zu verschiedenen Zeiten nacheinander ankommen, wobei es auch geschehen kann, daß dieselbe Welle eine mehrfache Reflexion an verschiedenen Wänden erfahren hat.

Zu den ausgezeichneten Echos gehören außer vielen andern folgende: An dem Lurleifelsen zwischen Bingen und Koblenz giebt es ein Echo, welches ein Wort siebzehnmal wiederholt. Bei Adersbach in Böhmen ist ein Echo, welches sieben Silben dreimal wiederholt. — An dem Schlosse Simonetta bei Mailand entsteht durch zwei Flügel desselben ein Echo, durch welches ein Pistolenschuß gegen fünfzigmal wiederholt wird.

Zu den berühmten Sprachgewölben gehört die Kuppel der St. Paulskirche in London, in welcher man das leise Flüstern oder das Ticken einer Taschenuhr an einer Seite der Galerie an der entgegengesetzten Seite hört.

Die auf Schiffen gebräuchlichen Sprachrohre sind selten länger als 1 bis 2 m.

So wie der Schall zufolge des Vorhergehenden nach dem nämlichen Gesetze wie das Licht zurückgeworfen wird, so wird derselbe auch bei dem Übergange aus einem Mittel in ein anderes gebrochen und zwar nach dem nämlichen Gesetze wie das Licht (§. 195). Dies folgt einmal aus der allgemeinen Wellentheorie und ist andererseits durch direkte Versuche bestätigt worden, worauf wir hier jedoch nicht näher eingehen können.

***§. 181. Mittönende Schwingungen, Resonanz.** Durch die Schwingungen eines tönenden Körpers kann auch ein anderer Körper in Schwingungen versetzt und so zum **Mittönen** gebracht werden. Spannt man z. B. zwei Saiten in einiger Entfernung von einander auf, stimmt dieselben auf den nämlichen Ton und streicht dann die eine mit einem Bogen, so beginnt die andere Saite ebenfalls zu tönen; sie klingt sogar noch selbständig eine Zeit lang fort, wenn die erstere Saite am Weitertönen gehindert wird. Das Mittönen tritt jedoch nur dann ein, wenn beide Saiten den nämlichen Ton zu geben vermögen, sei es nun, daß sie dabei als Ganzes oder in Teilen schwingen. Überhaupt muß ein Körper, welcher mittönen soll, auf denselben Ton abgestimmt sein, wie der ursprüngliche Schallerreger. Die vorstehende Erscheinung findet ihre Erklärung darin, daß die von einem tönenden Körper ausgehenden Schwingungen, wenn sie einen anderen gleichgestimmten Körper treffen, diesen ebenfalls in stehende Schwingungen versetzen und so zum Mittönen erregen können.

Durch das Mittönen anderer Körper wird häufig eine bedeutende Verstärkung des Tones hervorgebracht. Eine tönende Stimmgabel, frei in der Hand gehalten, giebt nur einen schwachen Ton; hält man sie dagegen vor die Öffnung einer Pfeife, welche den nämlichen Ton zu geben vermag, so klingt derselbe bei weitem kräftiger, da die in der Pfeife enthaltene Luftsäule zum Mittönen gebracht wird. — Setzt man eine angeschlagene Stimmgabel mit dem Stiel auf eine Holzplatte, so wird der Ton ebenfalls bedeutend verstärkt, indem die Platte an den Schwingungen der Stimmgabel teilnimmt; doch schwingt die Platte nicht selbständig für sich allein weiter; der Ton verschwindet vielmehr gänzlich, sobald die Stimmgabel verstummt. Andererseits verstärkt die Holzplatte nicht nur einen bestimmten Ton, sondern Töne von der verschiedensten Höhe. Es wird dies dadurch ermöglicht, daß sie sich durch Knotenlinien in mannigfaltigster Weise teilen und so die verschiedenartigsten Schwingungen ausführen kann. Die Verstärkung schwacher Töne durch Mittönen bezeichnet man gewöhnlich als **Resonanz**. Auf derselben beruht die Anwendung der aus dünnem Holz gefertigten Resonanzböden oder -kasten.

Hinsichtlich der Verstärkung eines Tones durch Resonanz heben wir noch [illegible] das Folgende hervor. Ein Schallerreger von geringer Ausdehnung, wie [illegible], eine Stimmgabel, vermag beim Tönen unmittelbar nur auf eine kleine [illegible] einzuwirken und liefert daher für sich allein nur einen schwachen Ton; [illegible] einen Körper von größerer Ausdehnung zum Mittönen, so wird durch [illegible] des letzter[illegible] größere Luftmasse in Bewegung gesetzt; [illegible] (§. 179). Andererseits verstummt

aber auch der Tonerreger weit rascher, als wenn er für sich allein schwingt. So verklingt z. B. der Ton einer Stimmgabel schneller, wenn man sie auf einen Resonanzboden stellt, als wenn man sie frei in der Hand hält.

Singt man in ein Klavier bei aufgehobener Dämpfung einen Ton hinein, so hört man denselben wieder aus dem Klavier hervorklingen, da die auf den Ton abgestimmten Saiten mitschwingen. — Sehr schön läßt sich das Mittönen auch mit Hülfe zweier großer Stimmgabeln zeigen, welche auf hohlen Resonanzkasten stehen.

Hält man eine tönende Stimmgabel über ein hohes cylindrisches Glasgefäß, so kann man es durch Eingießen von Wasser leicht dahin bringen, daß die in dem Gefäße befindliche Luftsäule eine zum Mittönen passende Länge erhält und den Ton der Stimmgabel bedeutend verstärkt. Nach §. 172 muß die Länge der Luftsäule gleich einer Viertelwellenlänge des Tones sein, falls die Luftsäule ihren Grundton giebt. So findet z. B. bei Anwendung einer gewöhnlichen Stimmgabel, derem Tone eine Wellenlänge von ungefähr 76 cm zukommt (§. 176, b), das Mittönen statt, wenn die Länge der Luftsäule etwa 19 cm beträgt.

Über Resonatoren siehe §. 174, Anm.

Auf dem Mittönen beruht auch die Erscheinung, daß manche Gasflammen bei gewissen Tönen in Zuckungen geraten. Man pflegt solche Flammen sensitive zu nennen.

§. 182. Interferenz der Schallwellen. So wie zwei im Wasser gleichzeitig erregte Wellen sich über die Oberfläche desselben ausbreiten, ohne sich zu stören, so können auch in der Luft mehrere Töne sich zugleich fortpflanzen. An den Durchkreuzungsstellen zweier im Wasser fortschreitenden Wellen findet da, wo Berg und Berg oder Thal und Thal zusammentreffen, eine Vergrößerung des Wellenberges oder Wellenthales, und da, wo ein Berg der einen Welle mit einem Thale der andern zusammentrifft, eine Verminderung oder ein gänzliches Aufheben statt. Ebenso müssen zwei in der Luft zugleich sich fortpflanzende Schallwellen bei ihrem Zusammentreffen sich entweder verstärken oder schwächen, je nachdem die schwingende Bewegung der zusammentreffenden Teile nach gleicher oder entgegengesetzter Richtung hin erfolgt.

Wenn man an den entgegengesetzten Seiten der drehbaren Scheibe einer Sirene (§. 166) zwei Röhren so anbringt, daß die Mündung der einen sich gleichzeitig einer Lücke der Scheibe gegenüber befindet, wenn die Mündung der andern irgend einer andern Lücke, etwa der nächstfolgenden, gegenübersteht, so vernimmt man, wenn man bald durch die eine, bald durch die andere Röhre einen Luftstrom gehen läßt, bei gleich rascher Umdrehung der Scheibe in beiden Fällen denselben Ton. Dieser verschwindet aber und man vernimmt nur ein Sausen, wenn gleichzeitig durch beide Röhren mit gleicher Stärke geblasen wird.

Man sieht hieraus, daß *zwei gleich hohe Töne sich nicht allemal verstärken, sondern unter Umständen sich auch schwächen und aufheben können.* Man nennt diese Erscheinung *Interferenz*.

Bei einer Welle folgen die abwechselnden Berge und Thäler, Verdichtungen und Verdünnungen, in Abständen auf einander, welche gleich der Hälfte einer ganzen Welle sind. Es müssen also zwei gleich hohe Töne, welche genau gleichzeitig mit demselben Schwingungszustande beginnen, sich bei gleicher Stärke an einer solchen Stelle gegenseitig aufheben, welche von der einen Schallquelle um eine halbe Wellenlänge weiter entfernt ist als von der anderen, indem an der betrachteten Stelle immer gleichzeitig von der einen Schallquelle eine Verdichtung, von der anderen eine Verdünnung anlangt. — Dies zeigt sehr schön der folgende Interferenzversuch:

Zwei gabelförmig gestaltete Glasröhren A und B (Fig. 232) sind, wie dies die Figur genauer zeigt, durch einen kürzeren Schlauch s und einen längeren Schlauch mno mit einander verbunden; der letztere übertrifft den ersteren um die halbe Wellenlänge des Tones a einer gewöhnlichen Stimmgabel, also um etwas mehr als 38 cm (§. 176, b). Hält man nun eine tönende Stimmgabel vor das offene Ende der einen Röhre, etwa A, so teilen sich die in die Röhre eindringenden Wellen bei a in zwei Teile, von denen der eine durch den kürzeren Schlauch, der andere durch den längeren Schlauch fortschreitet. Beide Wellenbewegungen treffen sodann in der zweiten Röhre bei b wieder zusammen; dort müssen sie sich aber nach dem Obigen gegenseitig vernichten, da ihr Gangunterschied eine halbe Wellenlänge beträgt.

(Fig. 232.)



In Übereinstimmung hiermit zeigt sich folgende Erscheinung. Steckt man das offene Ende der zweiten Röhre B oder noch besser einen mit diesem Ende verbundenen Schlauch in ein Ohr und drückt den einen der beiden Verbindungsschläuche fest zusammen, sodaß die Schallwellen sich nur durch den anderen Schlauch fortpflanzen können, so hört man deutlich den Grundton der Stimmgabel durch die Röhre hindurch; derselbe wird dagegen nicht vernommen, wenn beide Schläuche geöffnet sind. (Man hört dann den ersten Oberton, die Oktave.) — Hält man das offene Ende der zweiten Röhre über die Öffnung eines Cylinders, welcher den Grundton der Stimmgabel durch Mittönen verstärkt (s. d. Anm. d. vorig. §.), so läßt sich die Interferenzerscheinung auch in größerer Entfernung deutlich wahrnehmen.

Auf der Interferenz der Schallwellen beruht auch das abwechselnde Stärker- und Schwächerwerden des Tones, welches man wahrnimmt, wenn zwei Töne, die in ihrer Höhe nur wenig von einander abweichen, gleichzeitig erklingen. Diese Erscheinung, welcher man den Namen Schwebungen oder Stöße gegeben hat, läßt sich besonders deutlich mit Hülfe zweier Orgelpfeifen oder auch zweier kräftigen, auf Resonanzkasten befestigten Stimmgabeln hervorrufen. Die Erklärung ist folgende: Nehmen wir an, daß der eine tönende Körper in derselben Zeit genau 100 Schwingungen vollende, in welcher der andere 101 Schwingungen macht, so werden sich dieselben nach je 100 Schwingungen des ersten und je 101 Schwingungen des andern in ganz gleichen Schwingungszuständen befinden und daher die größte Verstärkung des Tones bewirken. In der Mitte dieser Zeit schwingen beide nach gerade entgegengesetzten Richtungen, und es muß daher jetzt die größte Schwächung des Tones eintreten. Braucht daher der eine tönende Körper zu 100 Schwingungen, der andere zu 101 Schwingungen eine Sekunde Zeit, so wird in jeder Sekunde ein Stoß erfolgen. Wenn dagegen der eine tönende Körper in der Sekunde 100, der andere 102 Schwingungen macht, so entstehen in jeder Sekunde zwei Stöße, weil nach je 50 Schwingungen des einen und 51 Schwingungen des andern die Schwingungszustände derselben übereinstimmen u. s. w. Überhaupt ist die Zahl der Stöße in einer Sekunde gleich dem Unterschiede der Schwingungszahlen beider Töne.

Scheibler hat (1833) von den Stößen eine äußerst nützliche Anwendung zur genauen Ermittelung der absoluten Schwingungszahl der Töne gemacht. Er wendete für diesen Zweck zahlreiche Stimmgabeln an, von denen jede folgende einen etwas höheren Ton als die vorhergehende, die letzte aber genau die Oktave der ersten gab. Dann ist zufolge des Obigen die Summe der Stöße, welche je zwei aufeinander folgende Stimmgabeln beim gleichzeitigen Ertönen in der Sekunde geben, gleich dem Unterschiede der Schwingungszahlen des höchsten und des tiefsten Tones, und da jener die Oktave von diesem ist, folglich auch gleich der Schwingungszahl des tiefsten Tones.

***§. 183. Das Organ des Gehörs.** Man unterscheidet bei dem Gehörorgan das äußere, mittlere und innere Ohr. Fig. 233 stellt einen Durchschnitt desselben dar.

Zu dem äußeren Ohre rechnet man die Ohrmuschel (a) und den Gehörgang (b), welcher durch eine Haut, das Trommelfell (c), geschlossen und von dem mittleren Ohre geschieden wird.

Das mittlere Ohr oder die **Paukenhöhle** (g) ist eine Höhlung, welche so wie das innere Ohr in dem Felsenbeine (m) liegt und mit Luft angefüllt ist. In der Paukenhöhle liegen vier miteinander verbundene kleine Knöchelchen, (welche in Fig. 233 fortgelassen, dagegen etwas vergrößert in Fig. 234 und 235 und zwar in der ersteren verbunden, in der letzteren getrennt abgebildet sind), nämlich (Fig. 235) der an das Trommelfell angewachsene **Hammer** (1), der **Amboß** (2), das Linsenbein (3) und der **Steigbügel** (4). Die Paukenhöhle steht durch einen Kanal, die **eustachische Röhre** (f), mit der Mundhöhle in Verbindung, wodurch die Luft in der Paukenhöhle erneuert und im Gleichgewichte mit der äußeren Luft erhalten werden kann.

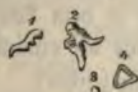
(Fig. 233.)



(Fig. 234.)



(Fig. 235.)



Auf das mittlere Ohr folgt das innere Ohre oder **Labyrinth**, welches aus verschiedenen knöchernen Höhlungen besteht. Es gehören hierher die **Schnecke** (h) und die drei halbzirkelförmigen **Bogengänge** (l), welche sich in eine gemeinschaftliche Höhle, den **Vorhof** (k) vereinigen. Innerhalb des mit Wasser angefüllten Labyrinths verzweigt sich der vom Gehirn kommende Gehörnerv (i) und verbreitet sich insbesondere in der Schnecke zu einem höchst merkwürdigen (von **Corti** entdeckten) Organe, welches aus einigen tausend feinen, von Nervenfäden durchflochtenen Fasern besteht, die wie die Saiten eines Klaviers nebeneinander liegen, und von denen jede wahrscheinlich nur für die Schwingungen eines bestimmten Tones bestimmt ist.

In der knöchernen Wand, welche das Labyrinth von der Paukenhöhle trennt, befinden sich zwei durch dünne Häute geschlossene Öffnungen, das **ovale** und **runde Fenster**. An der Haut des ovalen Fensters ist der Steigbügel befestigt, sodaß die vier Gehörknöchelchen, von denen der Hammer am Trommelfell angewachsen ist, eine Verbindung zwischen diesem und dem Labyrinthe herstellen.

Über die Verrichtung dieser Teile läßt sich im allgemeinen folgendes angeben. Die in der Luft erregten Schallwellen, welche von der Ohrmuschel aufgefangen werden, gelangen durch den Gehörgang zum Trommelfell und setzen dasselbe in schwingende Bewegung. Diese Schwingungen werden durch die vier Gehörknöchelchen auf die Haut des ovalen Fensters und durch diese auf die Flüssigkeit im Labyrinth übertragen und so bis zu den in demselben sich ausbreitenden Nervenfäden fortgepflanzt. Dabei dient das runde Fenster wahrscheinlich dazu, die schwingende Bewegung der (nur sehr schwer zusammendrückbaren) Flüssigkeit zu ermöglichen.

Nicht unerwähnt dürfen wir lassen, daß Personen, welche die Ohrmuschel verloren hatten, keine bedeutende Schwächung des Gehörs erfahren haben, und daß Verletzungen des Trommelfells und der Gehörknöchelchen nicht immer den gänzlichen Verlust des Gehörs zur Folge haben, in einzelnen seltenen Fällen sogar Taubheit durch Durchbohrung des Trommelfells geheilt worden ist.

Endlich wollen wir noch anführen, daß auch andere Teile des Kopfes, insbesondere die Zähne, dazu beitragen können, den Schall nach den Gehörnerven fortzupflanzen, wie man sich leicht überzeugt, wenn man einen tönenden Stab oder einen andern schallenden Körper an die Zähne hält, wodurch die Wahrnehmung des Schalles bedeutend verstärkt wird.

§. 184. Phonograph. Der Phonograph ist ein Apparat, welcher Töne aufzuzeichnen und dann zu beliebiger Zeit wieder zu erzeugen vermag. Die Hauptteile desselben sind ein Cylinder, in dessen Mantelfläche die Töne eingeschrieben werden, ferner ein Schreib- und ein Sprechapparat. Der Cylinder ist um seine Achse drehbar und von einer harten Wachsschicht mit sehr glatter Oberfläche umkleidet. Der Schreib- und der Sprechapparat bestehen beide aus einem flachen Gehäuse, in welchem sich eine elastische Membran (eine äußerst dünne Glasplatte) ausbreitet. Diese Membran, welche dem Trommelfell unseres Ohres entspricht, trägt in ihrer Mitte einen feinen metallenen Stift, welcher bei dem Schreibapparate in eine scharfe Schneide endigt, bei dem Sprechapparate aber abgerundet ist.

Beim Gebrauch wird zunächst der Schreibapparat so gestellt, daß sein Stift die Mantelfläche des Cylinders gerade berührt. Spricht man dann gegen die Membran des Apparates, so gerät dieselbe durch die erzeugten Schallwellen in Schwingungen, und es gräbt sich der Schreibstift in abwechselnder Folge den Schwingungen entsprechend in das Wachs ein. Wird der Cylinder dabei um seine Achse gedreht und zugleich der Schreibapparat parallel der Achse langsam an dem Cylinder fortbewegt, so reihen sich die Eindrücke, welche der Stift in dem Wachs hervorbringt, in einer um den Cylinder laufenden spiralförmigen Linie an einander, und es werden so die in den Phonographen gesprochenen Worte aufgezeichnet.

Um nun die aufgenommenen Worte wieder hervorzurufen, bringt man den Sprechapparat in diejenige Stellung, welche ursprünglich der Schreibapparat inne hatte, sodaß der Stift des Sprechapparates gerade in die von dem Schreibstift zuerst eingegrabene Vertiefung hineinragt. Sodann wird der Cylinder von neuem gedreht und zugleich der Sprechapparat ebenso wie vorher der Schreibapparat an dem Cylinder entlang geführt. Indem dabei der Stift des Sprechapparates über die von dem Schreibstift in das Wachs eingedrückten Vertiefungen hingleitet, wird die Membran des Sprechapparates in genau die nämlichen Schwingungen versetzt, wie vorher die Membran des Schreibapparates, und es entstehen so, indem diese Schwingungen sich der Luft mitteilen, genau dieselben Töne wieder, welche ursprünglich in den Apparat gesprochen wurden.

(Fig. 236.)

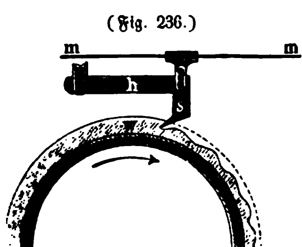


Fig. 236 zeigt in vergrößertem Maßstabe die Einrichtung und Wirkungsweise des Schreibapparates. Der um die Achse a drehbare Hebel h ist mit seinem Ende an der Membran mm [illegible] trägt daselbst den in eine [illegible] ausgehenden Schreibstift s, welcher in den [illegible] Wachscylinder w [illegible] mikroskopischer Kleinheit eingräbt.

Die Bewegung des Cylinders sowie des Schreib- und Sprechapparates bewirkt ein kleiner Elektromotor, welcher selbst durch eine galvanische Batterie getrieben wird.

Behufs besserer Auffangung des Schalles ist auf dem Gehäuse des Schreibapparates noch ein Schlauch mit trichterförmigem Mundstück angebracht, auf dem Gehäuse des Sprechapparates dagegen ein Hörschlauch, dessen freies Ende beim Gebrauch in das Ohr gesteckt wird. — Setzt man auf den Sprechapparat einen größeren Schalltrichter, so vermag man die durch den Phonographen wieder gegebenen Töne auch in einem größeren Raume noch deutlich zu verstehen.

Der Phonograph ist 1877 von Edison in Nordamerika erfunden. Die oben beschriebene neueste Form desselben giebt die feinsten Unterschiede in Stärke und Klangfarbe der Töne wieder und findet schon mehrfach für große Verhältnisse als stenographischer Apparat Verwendung.

Neunter Abschnitt.

Vom Lichte.

A. Vom Lichte im allgemeinen.

§. 185. Hypothese über das Licht. Die Ursache, durch welche Körper auf unser Auge einwirken und uns sichtbar werden, bezeichnen wir als Licht.

Während uns die Art und Weise, wie der Schall entsteht und wie derselbe zu unserem Ohre gelangt, sehr vollständig bekannt ist, gehen uns über das Wesen des Lichtes bestimmte Erfahrungen gänzlich ab. Wir müssen uns daher, um die Mannigfaltigkeit der optischen Erscheinungen unter ein allgemeines Gesetz zu bringen, über das Licht eine hypothetische Vorstellung bilden.

Gegenwärtig nehmen die Physiker allgemein an, daß das Licht ebenfalls in einer Wellenbewegung bestehe. Nach dieser Annahme erfüllt ein sehr feiner, unwägbarer Stoff, der Äther, sowohl den ganzen Weltraum, als auch insbesondere die Zwischenräume zwischen den einzelnen Molekülen der Körper; das Licht aber entsteht durch äußerst feine Schwingungen, welche von den Molekülen der leuchtenden Körper ausgeführt werden, und pflanzt sich durch den Äther in ähnlicher Weise fort, wie die Schallwellen durch die Luft. Mit Hülfe der angezeigten Hypothese, welche man die Vibrationshypothese nennt, lassen sich nicht nur alle bislang bekannten optischen Erscheinungen genügend erklären, sondern man ist sogar durch theoretische Folgerungen aus derselben auf Erscheinungen aufmerksam geworden, welche sich bis dahin der Beobachtung entzogen hatten.

Über die Analogieen, welche zufolge der Vibrationshypothese zwischen Schall und Licht stattfinden, stellen wir hier vorläufig folgendes übersichtlich zusammen:

Der Schall wird durch die Schwingungen körperlicher Massen hervorgerufen.	Das Licht wird durch die Schwingungen der kleinsten Teile der Körper, welche wir Moleküle nennen, erzeugt.
Der Schall wird durch Wellen in der Luft fortgepflanzt.	Das Licht wird durch die Wellen im Äther fortgepflanzt.
Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft beträgt gegen 333 m in der Sekunde (bei 0° C.).	Die Geschwindigkeit des Lichtes im Äther des Weltraumes beträgt ungefähr 40 000 Meilen (300 000 km) in der Sekunde.

Durch die größere oder geringere Geschwindigkeit, mit welcher die tönenden Körper schwingen, gehen Töne von verschiedener Höhe hervor.	Durch die mehr oder weniger große Geschwindigkeit, mit welcher die kleinsten Teile der Körper schwingen, werden verschiedene Farben erzeugt.
Dem höchsten Tone kommt die größte, dem tiefsten Tone die kleinste Schwingungszahl zu.	Das violette Licht hat die größte, das rote die kleinste Vibrationsgeschwindigkeit.
Die Zahl der Schwingungen in der Sekunde beträgt beim höchsten wahrnehmbaren Tone ungefähr 40 000, beim tiefsten 14.	Die Schwingungszahl für die Sekunde beträgt beim violetten Lichte ungefähr 800 Billionen, beim roten 400 Billionen.
Schwingungen elastischer Körper, welche noch rascher oder noch langsamer erfolgen, werden vom Ohre nicht mehr als Schall vernommen.	Schwingungen der Moleküle, welche schneller oder langsamer geschehen, werden vom Auge nicht als Licht empfunden, wiewohl sich dieselben durch anderweitige Wirkungen (chemische oder thermische) zu erkennen geben.
Die Länge der Schallwellen in der Luft beträgt für den höchsten Ton ungefähr 8 mm, für den tiefsten 24 m.	Die Länge der Ätherwellen ist für das violette Licht ungefähr 0,0004, für das rote 0,0008 mm gleich.

Die Thatsachen, auf welche sich die für das Licht angeführten Zahlen gründen, die Methode, durch welche dieselben ermittelt worden sind, werden wir weiter unten (§. 210) kennen lernen.

Es unterscheiden sich aber hiernach die Schwingungen des Lichtes von denen des Schalles durch ihre unvergleichlich größere Feinheit, durch die größere Schnelligkeit, mit welcher dieselben erfolgen, und durch die größere Geschwindigkeit, mit welcher sie sich fortpflanzen.

Ein anderer specifischer Unterschied besteht noch in folgendem: Während bei der Fortpflanzung der Schallwellen sich die Luftteilchen in derselben Richtung, in welcher die Welle fortschreitet, also in der Richtung des Radius der Welle oder des Schallstrahles, hin und her bewegen, so daß jede ganze Welle aus einer verdichteten und einer verdünnten kugelförmigen, den schallenden Körper als Mittelpunkt einhüllenden Schicht besteht, muß man aus Gründen, welche wir weiter unten (§. 213) kennen lernen werden, bei den ebenfalls sphärischen Lichtwellen annehmen, daß die Teile des Äthers sich in einer auf dem Lichtstrahl, d. h. auf dem Radius der Welle senkrechten Richtung bewegen in ähnlicher Art, wie bei den über die Oberfläche des Wassers sich in der nämlichen Ebene ausbreitenden Wellen, bei denen die Wasserteile sich nicht sowohl fortschreitend als vielmehr auf und nieder, also ebenfalls senkrecht auf dem Radius der Welle bewegen.

Wenn man gegen ein langes und gespanntes Seil nahe an einem Ende einen Schlag ausübt, so geraten die Teile desselben in eine fortschreitende wellenförmige Bewegung, welche ein anschauliches Bild von der Art und Weise gewährt, wie durch die Schwingungen der Teile des Äthers das Licht fortgepflanzt wird. — Sehr gut eignet sich zu diesen Versuchen eine Kautschuk- oder Gummischnur.

Früher war unter den Physikern fast allgemein die Vorstellung verbreitet, daß das Licht aus einem äußerst feinen Stoffe bestehe, welcher von dem leuchtenden Körper nach allen Richtungen hin ausströme. Die letztere Annahme, die Emanationshypothese, ist besonders von Newton ausgebildet worden, während die Vibrationshypothese fast gleichzeitig (1690) von dem Holländer Huyghens aufgestellt worden ist. Bis in den Anfang dieses Jahrhunderts haben jedoch die meisten Physiker, durch Newtons Ansehen bewogen, der Emanationshypothese gehuldigt, bis Young (1800), Fresnel (1815) und andere eine Menge von Erscheinungen, insbesondere die Interferenzerscheinungen (s. u. §. 209) näher und bestimmter kennen gelehrt haben, welche der Emanationshypothese direkt entgegenstehen, während sich dieselben als einfache und notwendige Folgerungen aus der Vibrationshypothese ergeben.

§. 186. Leuchtende und dunkele, durchsichtige und undurchsichtige Körper. Einige Körper, die glühenden, sind durch ihr eigenes Licht sichtbar; die meisten Körper lassen sich dagegen nur dann mit dem Auge wahrnehmen, wenn man sie beleuchtet. Wir unterscheiden hiernach selbstleuchtende Körper, welche Licht hervorbringen und daher auch Lichtquellen genannt werden, und dunkle Körper,

elche erst dadurch sichtbar werden, daß Licht von irgend einer Lichtquelle auf die örper auffällt und von ihnen zurückgeworfen wird.

Die bedeutendste Lichtquelle, welche bei weitem den größten Teil alles Lichtes ir uns liefert, ist die Sonne. — Durch starke Erhitzung lassen sich alle Körper lühend, d. h. selbstleuchtend, machen. Hierauf beruhen unsere künstlichen Lichtquellen.

In ihrem Verhalten gegen auffallendes Licht zeigen die Körper ferner folgende erschiedenheit. Manche gestatten einer größeren oder geringeren Menge des auf- llenden Lichtes einen Durchgang, während andere gar kein Licht durch sich hindurch ingen lassen. Wir unterscheiden hiernach durchsichtige und undurchsichtige örper. Läßt ein Körper nur wenig Licht durch, sodaß man die Gestalt eines leuchteten Körpers nicht mehr deutlich durch ihn hindurch erkennen kann, so bezeichnet an ihn als durchscheinend.

Bei Körpern, welche dem Lichte einen Durchgang gestatten, vermindert sich die urchsichtigkeit mit zunehmender Dicke. Es gilt dies auch von Körpern, welche für wöhnlich als vollkommen durchsichtig erscheinen. So ist z. B. Wasser in sehr dicken hichten weniger durchsichtig und hört bei einer gewissen Dicke überhaupt auf, rchsichtig zu sein. Auf dem Meeresboden in großer Tiefe kann man keinen Gegen- nd mehr unterscheiden. — Selbst die Luft ist nicht vollkommen durchsichtig. Dies gt sich schon an der Schwächung, welche das Licht der Sonne beim Auf- und tergange erleidet, bei welchen die Sonnenstrahlen einen größeren Weg durch die hteren Schichten der Atmosphäre zurückzulegen haben, als wenn die Sonne am hen Himmel steht. Hiernach ist in der Natur ein vollkommen durchsichtiger Stoff erhaupt nicht vorhanden.

Ebenso giebt es auch keinen vollkommen undurchsichtigen Stoff. Selbst die chtesten Körper, die Metalle, lassen, in hinreichend dünne Blättchen ausgetrieben, icht durch. So ist z. B. recht dünnes Goldblatt durchsichtig; es zeigt im durch- lassenen Lichte eine bläuliche oder grünliche Farbe.

Die Erscheinung, daß ein durchsichtiger Körper in dicker Schicht weniger Licht rchläßt als in dünner, zeigt uns, daß ein Teil des eindringenden Lichtes im Innern s Körpers zurückgehalten wird. Stets ist bei einem durchsichtigen Körper die lenge des zurückgeworfenen und des durchgelassenen Lichtes geringer als die Menge s aufgefallenen. Ebenso wird von einem undurchsichtigen Körper niemals so viel cht zurückgeworfen als er empfängt. In allen diesen Fällen ist ein Teil des auf- fallenen Lichtes nicht mehr wahrzunehmen; derselbe ist, wie man sagt, von dem irper verschluckt oder absorbiert worden.

Weiter unten werden wir sehen, daß der anscheinend verschwundene Teil des Lichtes in der gel in Wärme (§. 252) umgewandelt oder zu chemischen Wirkungen (§. 208) verwendet worden ist.

Während alle Körper bei starker Erhitzung glühend werden, entwickeln einige schon bei gewöhn- er Temperatur ein schwaches Licht, so z. B. der Phosphor, verschiedene Insekten, wie die Johannis- r, ferner faules Holz und andere. Man bezeichnet diese Erscheinung nach dem Phosphor als osphorescenz und nennt Körper, welche dieselbe zeigen, phosphorescierend. Höchst wahrscheinlich das Leuchten des Phosphors die Folge einer langsam fortschreitenden Oxydation; ebenso dürfte auch Leuchten der anderen noch genannten Körper auf einem chemischen Prozesse beruhen.

Wesentlich verschieden von der im vorstehenden angegebenen Art der Phosphorescenz ist das chleuchten, welches man bei manchen Körpern im Dunkeln wahrnehmen kann, wenn dieselben

zuvor für einige Zeit dem Lichte eines starkleuchtenden Körpers, z. B. dem Sonnenlichte, ausgesetzt worden sind. Diese Phosphorescenz durch Bestrahlung beobachtet man häufig an Diamanten, Flußspat, ausgeglühten Eier- und Muschelschalen und anderen Körpern. Besonders lebhaft phosphorescieren die künstlich hergestellten Leuchtsteine. Dieselben werden gewöhnlich aus den alkalischen Erden (Kalk, Baryt, Strontian) erhalten, indem man die letzteren mit Schwefel glüht. — Neuerdings wird das Phosphorescieren auch praktisch verwertet, um Schilder, Zifferblätter von Uhren und andere Gegenstände im Dunkeln sichtbar zu machen.

Die Erklärung der durch Bestrahlung hervorgerufenen Phosphorescenz im Sinne der Vibrationshypothese wird weiter unten (§. 204, Anm.) gegeben werden.

B. Von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes oder der Optik im engeren Sinne.

§. 187. Lichtstrahl, Schatten. Unter einem Lichtstrahle versteht man die Linie, in welcher die Wirkung des Lichtes eines leuchtenden Punktes sich fortpflanzt. Geschieht diese Fortpflanzung innerhalb eines durchsichtigen Körpers, z. B. innerhalb der atmosphärischen Luft oder des Wassers, so wird dieser durchsichtige Körper das Fortpflanzungsmittel oder Medium genannt. Solange sich das Licht in einem Mittel von gleicher materieller Beschaffenheit fortpflanzt, solange also das Licht z. B. durch solche Schichten der Atmosphäre hindurchgeht, welche eine gleiche Dichtigkeit haben, ist der Weg desselben, wie unzählige bekannte Erfahrungen lehren, eine gerade Linie. So kann von einem leuchtenden Punkte das Licht nicht mehr in unser Auge gelangen, der Anblick desselben wird uns entzogen, wenn sich ein undurchsichtiger Körper in der geraden Linie befindet, welche unser Auge mit dem leuchtenden Punkte verbindet. Umgekehrt schließen wir, daß zwei Gegenstände und unser Auge in gerader Linie liegen, wenn der eine Gegenstand den anderen verdeckt, ein Satz, welcher die Grundlage der gesamten Feldmeßkunst bildet. So wird z. B. eine gerade Linie auf dem Felde mit Stangen in der Art abgesteckt, daß jedesmal die folgende Stange durch die vorhergehende für das Auge verdeckt wird.

Da wir einen leuchtenden Gegenstand von allen Seiten zu sehen vermögen, solange uns der Anblick desselben nicht durch das Zwischentreten eines anderen Körpers entzogen wird, so folgt hieraus, daß von einem leuchtenden Gegenstande Lichtstrahlen nach allen Richtungen hin ausgehen.

Den Raum hinter einem undurchsichtigen Körper, von welchem durch diesen das Licht eines leuchtenden Körpers abgehalten wird, nennen wir Schatten. Man unterscheidet Kernschatten und Halbschatten und versteht unter Kernschatten den Raum, in welchen von dem leuchtenden Körper gar kein Licht gelangen kann, und unter Halbschatten den Raum, in welchen nur ein Teil des leuchtenden Körpers Licht sendet. Ein innerhalb des Kernschattens befindliches Auge vermag den leuchtenden Körpers gar nicht, ein innerhalb des Halbschattens befindliches Auge nur einen Teil desselben zu sehen.

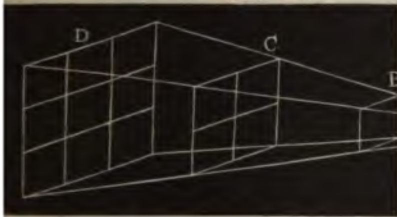
Über den Schatten bei Sonnen- und Mondfinsternissen ist zu vergl. Mall 3. Aufl. 1889, S. 34.

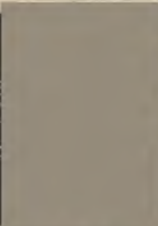
§. 188. Erleuchtung. Wenn das Licht eines leuchtenden Körpers auf die berfläche eines dunkeln Körpers trifft, so nennen wir dieselbe erleuchtet. Die ärke dieser Erleuchtung hängt zunächst von der Stärke des Lichtes des leuchtenden örpers, ferner von dem Abstande der erleuchteten Fläche von dem leuchtenden örper und endlich von dem Winkel ab, unter welchem die Lichtstrahlen diese läche treffen.

Je größer die Stärke des Lichtes ist, welches der leuchtende Körper aussendet, n so größer muß auch die Stärke der bewirkten Erleuchtung sein, und zwar uß dieselbe offenbar mit jener in gleichem Verhältnisse zu- und abnehmen.

Haben zwei Flächen einen ungleichen Abstand von dem leuchtenden Körper d werden beide von den auffallenden Lichtstrahlen senkrecht oder unter gleichen igungswinkeln getroffen, so wird die nähere stärker erleuchtet als die fernere. t A (Fig. 237) ein leuchtender Punkt und sind B, C und D drei einander parallele ächen in der einfachen, doppelten und dreifachen Entfernung, so ist offenbar C viermal und D neunmal so groß als B, wenn alle drei von einer gleichen Menge von A ausgehender Lichtstrahlen getroffen werden. Demnach erhält ein B gleicher Teil der Fläche C nur den vierten Teil und ein ebenso großer Teil der iche D nur den neunten Teil des auf B fallenden Lichtes. Überhaupt nimmt die ärke der Erleuchtung im quadratischen Verhältnisse der Entfernung ab. eser aus rein theoretischen Gründen sich ergebende Satz erleidet in der Erfahrung urch eine in den meisten Fällen jedoch sehr geringe Modifikation, daß das Licht seinem Durchgange durch die atmosphärische Luft oder ein anderes durchsichtiges ittel eine Schwächung erfährt, indem nicht alle Strahlen durchgelassen werden, dern ein Teil derselben verschluckt wird.

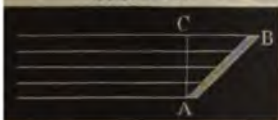
(Fig. 237.)





Treffen die auf eine Fläche fallenden Strahlen dieselbe nicht senkrecht, sondern ief, so ist unter sonst gleichen Umständen die Erleuchtung um so schwächer, je ner der Winkel ist, welchen die Strahlen mit der Fläche bilden. Ist AB (Fig. 238) eine gegen die auffallenden Lichtstrahlen schief geneigte, AC eine auf der Richtung derselben senkrechte Ebene, so wird AB nur von ebensovielen Lichtstrahlen getroffen als AC; es muß daher ein Teil von AB in dem Verhältnisse, in welchem AC kleiner als AB ist, schwächer erleuchtet sein als ein gleich großer Teil von AC.*)

(Fig. 238.)



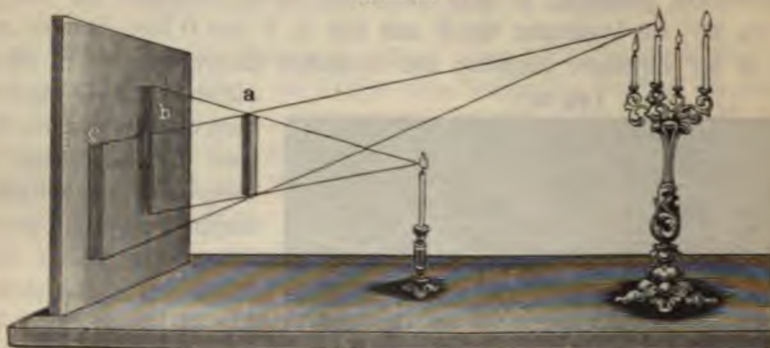
Die vorhergehenden Sätze betreffen nur die Erleuchtung, d. h. die Menge der eine Fläche auffallenden Lichtstrahlen; hiervon ist jedoch der Glanz oder die

*) Für die mit der Trigonometrie bekannten Leser bemerken wir noch, daß $\frac{AC}{AB} = \sin ABC$, also Erleuchtung dem Sinus des Neigungswinkels proportional ist.

Helligkeit, mit welcher die Fläche unserem Auge erscheint, verschieden, indem dieselbe durch die Menge der von der Fläche zurückgeworfenen Strahlen bestimmt wird und Flächen von verschiedener Beschaffenheit oder bei verschiedener Lage gegen die auffallenden Strahlen das Licht nach einem sehr verschiedenen Verhältnisse reflektieren. Nur bei zwei Flächen von ganz gleicher Beschaffenheit und gleicher Neigung gegen die auffallenden Strahlen stehen Helligkeit und Erleuchtung in gleichem Verhältnisse.

Beleuchtet man eine Fläche durch eine Lichtquelle aus einer gewissen Entfernung und bringt die Lichtquelle dann in die doppelte Entfernung, so sinkt die Stärke der Erleuchtung zufolge des obigen Gesetzes auf den 4. Teil; man muß in der doppelten Entfernung eine 4 mal so starke Lichtquelle anwenden, um die gleiche Erleuchtung zu erzielen. Stellt man z. B. vor einen weißen Schirm einen undurchsichtigen Stab a (Fig. 239) und in einiger Entfernung davon eine brennende Kerze, ferner in größerer Entfernung (etwas seitwärts) 4 dicht beisammenstehende Kerzen, so entstehen auf

(Fig. 239.)

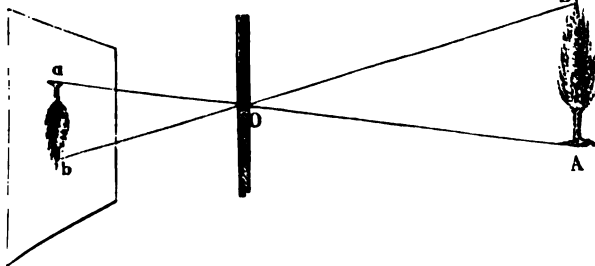


dem Schirme von dem Stabe a zwei Schatten b und c, von denen der eine b durch die eine Kerze, der andere c durch die 4 Kerzen hervorgerufen wird; der letztere c empfängt nur Licht von der einen Kerze, der erstere dagegen von den 4 Kerzen; beide Schatten erscheinen nun in Übereinstimmung mit dem obigen Gesetze gleich hell, wenn die 4 Kerzen doppelt so weit von dem Schirme entfernt sind wie die eine Kerze. — **Allgemein verhalten sich die Lichtstärken zweier Lichtquellen, welche sich in solchen Abständen von einer Fläche befinden, daß sie dieselbe gleich stark beleuchten, wie die Quadrate ihrer Abstände.**

Auf diesen Satz gründet sich die Einrichtung derjenigen Apparate, welche zur Abmessung der Lichtstärke dienen, der **Photometer**. Um die Entfernungen zu ermitteln, aus denen die zu vergleichenden Lichtquellen eine Fläche gleich stark erleuchten, kann man z. B. auf die vorstehend angegebene Weise verfahren, indem man von einem Stabe auf einem weißen Schirme gleich helle Schatten entwirft. — Zu genaueren Ergebnissen führt das jetzt allgemein gebräuchliche **Fettfleck-Photometer** (von Bunsen). Bei diesem befindet sich auf einem weißen Schirme ein fettiger Fleck (von Stearin). Erleuchtet man nun die eine Seite des Schirmes etwa durch eine Kerze, so dringt durch den Fettfleck, welcher das Licht stärker durchläßt als gewöhnliches Papier, mehr Licht hindurch als durch den nicht gefetteten Teil des Schirmes; infolgedessen erscheint der Fleck von der Lichtseite aus betrachtet dunkel auf hellem Grunde, (von der anderen Seite aus dagegen hell auf dunklem Grunde). Stellt man sodann eine zweite Lichtquelle an der anderen Seite des Schirmes auf, so geht auch von dieser Seite Licht durch den Fleck hindurch, und es wird von beiden Seiten gleich viel Licht durchdringen, wenn die beiden Lichtquellen den Schirm gleich stark erleuchten. Bei gleicher Erleuchtung verschwindet daher der Fettfleck, indem er ebenso hell wie seine Umgebung erscheint. — Als Einheit der Lichtstärke dient in Deutschland die Flamme einer Paraffinkerze von 20 mm Durchmesser und 50 mm Flammen[illegible] In dieser Einheit hat eine gewöhnliche Gasflamme die Stärke 15—20. Über die Stärke de[illegible]es siehe §. 154.

§. 189. Optische Kammer. Wenn man in der Wand eines verfinsterten Zimmers eine kleine Öffnung O (Fig. 240) anbringt und sich derselben gegenüber ein leuchtender oder erleuchteter Gegenstand AB befindet, so gelangen die vom Punkte A ausgehenden Strahlen in der Richtung Aa und die vom Punkte B ausgehenden Strahlen in der Richtung Bb durch die Öffnung O in das verfinsterte Zimmer.

(Fig. 240.)



Besitzen nun die Punkte A und B verschiedene Helligkeit, so müssen die von diesen Punkten ausgesandten Strahlen auch die der Öffnung O gegenüberliegende Wand in den Punkten a und b mit ungleicher Stärke beleuchten; sendet A mehr Lichtstrahlen aus als B, so muß in demselben Verhältnisse a heller erleuchtet sein als b. Und da dasselbe von allen übrigen Punkten zwischen A und B gilt, so muß an der der Öffnung gegenüberliegenden Wand dieselbe Reihenfolge von Licht und Schatten auftreten, welche der Körper AB aufweist. Es entsteht mithin an dieser Wand ein Bild des leuchtenden Gegenstandes AB und zwar, wie unmittelbar aus der Figur hervorgeht, ein umgekehrtes Bild. — Was wir von dem einen Gegenstande AB gesagt haben, gilt ebenso von allen anderen vor der Öffnung befindlichen Gegenständen. Befindet sich daher die Öffnung in dem Fensterladen eines Zimmers, von welchem man eine freie Aussicht hat, so erhält man auf einer der Öffnung gegenüberliegenden weißen Wand im Zimmer ein Bild der vor dem Fenster sich ausbreitenden Landschaft mit den in derselben befindlichen Häusern, Bäumen, Menschen u. s. w.

Dieses Bild ist jedoch, wie gesagt, umgekehrt und hat überdies keine volle Deutlichkeit, d. h. die einzelnen Teile desselben besitzen keine ganz scharfen Umrisse, weil die von einem Punkte, z. B. A ausgehenden Lichtstrahlen sich nicht wieder in einem Punkte a vereinigen, sondern über eine kleine Fläche ausbreiten, welche um so größer ist, je größer die Öffnung O ist. Diese darf daher nicht zu groß sein, wenn das Bild einigermaßen deutlich ausfallen soll. Andererseits darf jedoch auch die Öffnung nicht allzu klein sein, da in gleichem Verhältnisse mit der Größe der Öffnung die Menge des einfallenden Lichtes, also die Helligkeit des Bildes abnimmt. Man kann demnach in der optischen Kammer nur von stark erleuchteten, z. B. von der Sonne beschienenen Gegenständen deutliche Bilder erhalten.

Wenn durch die Öffnung O die Sonnenstrahlen einfallen, so erhält man auf einer gegenüberliegenden Wand ein Bild der Sonne. Dieses Bild hat allemal eine rundliche Gestalt, welches auch immer die Gestalt der Öffnung ist, auch wenn diese z. B. dreieckig ist. Das Bild ist jedoch nur dann ein Kreis, wenn die auffangende Wand zur Achse des einfallenden Lichtkegels senkrecht ist; ist diese Bedingung nicht erfüllt, so hat das Sonnenbild eine elliptische Gestalt.

Daß das Sonnenbild unter allen Umständen eine rundliche Gestalt haben muß, leuchtet sofort durch folgende Überlegung ein. Gesetzt die Öffnung sei von Dreiecksform und vor derselben befinde sich ein leuchtender Punkt, so erhellen die durch die Öffnung hindurchgehenden Strahlen im Innern des Zimmers den Raum eines Pyramidenstumpfes, rufen also auf der gegenüberliegenden Wand das Bild eines Dreiecks hervor. Solcher Dreiecke entstehen aber, da die Sonnenscheibe unzählige leuchtende Punkte enthält, unendlich viele, welche teils nebeneinander liegen, teils übereinander greifen und bei ihrer unendlich großen Anzahl schließlich eine leuchtende Fläche von rundlicher Form liefern müssen, da die Randstrahlen von Punkten ausgehen, welche selbst in einem Kreise geordnet sind. Eben dergleichen Sonnenbilder sieht man in schattigen und von der Sonne beschienenen Lauben entstehen, indem die Sonnenstrahlen durch die Lücken gehen, welche die Blätter zwischen sich lassen.

§. 190. **Geschwindigkeit des Lichtes.** Das Licht pflanzt sich mit einer sehr großen Geschwindigkeit, aber nicht momentan fort. Es durchläuft nämlich in einer Sekunde ungefähr 40 000 Meilen (300 000 km), eine Geschwindigkeit, welche viel zu groß ist, als daß wir sie auf gewöhnliche Weise durch Beobachtung auf der Erde abzumessen imstande wären. Die erste Kenntnis von der Geschwindigkeit, mit welcher das Licht den Weltraum durcheilt, verdanken wir den Beobachtungen über die Verfinsterungen der Trabanten des Jupiter. Wegen des sehr großen Durchmessers dieses Planeten und der verhältnismäßig geringen Entfernung, in welcher die vier Monde denselben umkreisen, gehen die Monde bei jedem Umlaufe um den Hauptplaneten durch den Schatten desselben hindurch und werden also verfinstert. Nur bei dem entferntesten ist dieses nicht jedesmal der Fall. Da man diese Trabanten seit Erfindung der Fernröhre mit Sorgfalt beobachtet hat, so kennt man auch die mittlere Umlaufszeit eines jeden um den Jupiter sehr genau. Beobachtet man nun für irgend einen Trabanten zwei aufeinander folgende Finsternisse, so findet man, daß die Zwischenzeit zwischen den Eintritten derselben die mittlere Umlaufszeit dieses Trabanten übertrifft oder von derselben übertroffen wird, je nachdem die Erde sich in dieser Zeit von dem Jupiter entfernt oder demselben genähert hat. Wenn die Erde sich in E (Fig. 241) in ungefähr gerader Linie zwischen der Sonne S und dem Jupiter J befindet, so beträgt insbesondere für den nächsten Trabanten die Zeit von dem Eintritte einer Verfinsterung bis zur nächstfolgenden 42 Std. 28 Min. 35 Sek., und da hier die Entfernung der Erde vom Jupiter in der Zwischenzeit sich fast gar nicht ändert, so stimmt diese Zeit mit der wahren Umlaufszeit dieses Trabanten um den Jupiter überein. Wenn dagegen die Erde sich in E'' gerade vom Jupiter weg bewegt, so beträgt diese Zwischenzeit (beinahe) 15 Sek. mehr, und wenn sich die Erde in E' gerade auf den Jupiter zu bewegt, 15 Sek. weniger. Im ersteren Falle hat sich die Entfernung der Erde vom Jupiter in der Zwischenzeit von $42\frac{1}{2}$ Std. um (ungefähr) 600 000 Ml. vergrößert, im letzteren Falle um ebensoviel verringert. Diese Verzögerung des Eintritts der Verfinsterung in dem einen und die Beschle[illegible]m anderen Falle läßt sich

(Fig. 241.)

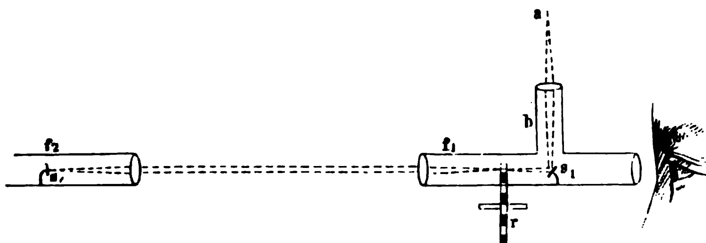


dadurch erklären, daß wir annehmen, das Licht gebrauche 15 Sek. Zeit, um 600 000 Ml. zu durchlaufen, und lege also (ungefähr) 40 000 Ml. in 1 Sek. zurück.

Wir verdanken die richtige Erklärung der angeführten Erscheinungen dem Scharfsinne des dänischen Astronomen Römer (1675). — Ein anderes, noch genaueres Mittel zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes bietet die Aberration des Sternenlichtes dar. Siehe hierüber §. 284.

Unter den sinnreichen Methoden, durch welche es in neuerer Zeit gelungen ist, die Geschwindigkeit des Lichts auch für den Fall zu bestimmen, daß dasselbe von irdischen Lichtquellen ausgeht, möge noch die von Fizeau (1849) befolgte, in Fig. 242 schematisch dargestellte Methode näher beschrieben werden, da diese die verhältnismäßig einfachste ist. Fizeau ließ die von einer Lichtquelle a ausgehenden

(Fig. 242.)



Strahlen durch ein seitliches Ansatzrohr b in das Fernrohr f_1 eintreten und reflektierte dieselben vermittelst eines hier aufgestellten, unter einem Winkel von 45° gegen die Achse des Fernrohrs geneigten Spiegels s_1 derart, daß sie durch eine Lücke eines in das Fernrohr f_1 hineinragenden Zahnrades r hindurchgingen und parallel zur Achse des Fernrohres austraten. Die aus dem Fernrohre f_1 ausgetretenen Strahlen fielen auf einen in einer Entfernung von 8633 m aufgestellten (mittelst eines zweiten Fernrohres f_2 in die richtige Lage gebrachten) zweiten Spiegel s_2 senkrecht auf, wurden senkrecht wieder zurückgeworfen, gelangten zum Fernrohre f_1 zurück, passierten die Lücke des Zahnrades zum zweiten Male und gelangten, teilweise neben dem Spiegel s_1 vorbei gehend, in das vor dem Fernrohre f_1 befindliche Auge. Der Beobachter erblickte also, solange das Zahnrad sich in Ruhe befand, das Bild des leuchtenden Punktes a. Anders aber gestaltete sich die Sache, wenn das Zahnrad in Drehung versetzt wurde. Wurde dasselbe so schnell gedreht, daß in der Zeit, welche der Lichtstrahl zur Zurücklegung des Weges vom Fernrohre f_1 bis zum Spiegel s_2 und wieder zurück gebrauchte, an Stelle der Lücke ein Zahn getreten war, so verschwand der leuchtende Punkt. Bei doppelter Geschwindigkeit mußte der Lichtpunkt wieder sichtbar werden, bei dreifacher abermals verschwinden u. s. w. Fizeau beobachtete nun, daß ein Zahnrad mit 720 Zähnen, also ebensoviel Lücken, in der Sekunde 12,6 Umläufe machen mußte, damit der Lichtpunkt zum ersten Male verschwand. Da nun eine Lücke den 1440. Teil des Kreisumfanges betrug, so war der $12{,}6 \times 1440 = 18\,144$. Teil einer Sekunde nötig, damit an Stelle einer Lücke der nächstfolgende Zahn trat. In dieser Zeit hatte der Lichtstrahl den Weg von 2×8633 m zurückgelegt; mithin war die Geschwindigkeit des Lichtes gleich $17\,266 \times 18\,144$ m $= 42\,200$ Ml. — Auf diesem Wege ist später von anderen Forschern aus sehr zahlreichen und nach vervollkommneter Methode angestellten Beobachtungen die Geschwindigkeit des Lichtes zu ungefähr 40 000 Ml. bestimmt worden. Dieselbe Zahl hat ferner ein zuerst von Foucault (1862) ausgeführtes Verfahren ergeben, bei welchem ein rotierender Spiegel benutzt wird, wie ihn Wheatstone (s. oben §. 132) zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektricität angewandt hat.

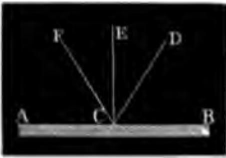
C. Von der Katoptrik oder der Zurückwerfung des Lichtes.

§. 191. Das Reflexionsgesetz. Wir haben schon oben (§. 146) bemerkt, daß die nicht selbst leuchtenden Körper uns nur durch das von denselben zurück-

geworfene Licht sichtbar werden. Die verhältnismäßige Menge des von der Oberfläche eines Körpers reflektierten Lichtes hängt zunächst von der Beschaffenheit der reflektierenden Oberfläche und dann auch von dem Neigungswinkel ab, welchen die auffallenden Strahlen mit derselben bilden. Die nämliche Fläche reflektiert einen um so größeren Teil der auffallenden Strahlen, je kleiner dieser Neigungswinkel ist. So reflektiert z. B. Glas nur ungefähr 4 Prozent des senkrecht, dagegen 66 Prozent des unter einem Neigungswinkel von 5° auffallenden Lichtes.

Um das Gesetz über die Lage der reflektierten Strahlen kürzer und bestimmter ausdrücken zu können, schicken wir noch folgende Begriffsbestimmungen voraus: — Das in dem Punkte C (Fig. 243), in welchem die reflektierende Fläche AB von einem auffallenden Strahle CD getroffen wird, errichtete Lot CE wird das Einfallslot, der Winkel DCE, welchen der einfallende Strahl CD mit dem Einfallslote CE bildet, der Einfallswinkel und der Winkel ECF, welchen der reflektierte Strahl CF mit dem Einfallslote CE bildet, der Reflexionswinkel genannt. Hiernach läßt sich nun das Gesetz der Zurückwerfung so ausdrücken:

(Fig. 243.)



1) Der einfallende und der reflektierte Strahl liegen mit dem Einfallslote in einer Ebene, also in einer Ebene, welche auf der reflektierenden Fläche senkrecht ist.

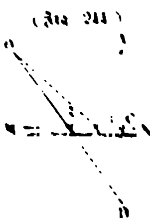
2) Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Da dieses Gesetz durch unzählige bekannte Erfahrungen bestätigt wird, eine Menge genauer mathematischer und physikalischer Instrumente auf demselben beruht, so bedarf es keines besonderen Versuches, um dasselbe nachzuweisen.

Die Erklärung des Reflexionsgesetzes ergiebt sich nach der Vibrationshypothese aus den Gesetzen der Wellenbewegung überhaupt. (Vergl. §. 57 und §. 197.)

Wenn eine von einem leuchtenden Punkte A (Fig. 244) ausgehende Lichtwelle eine ebene Spiegelfläche MN in B trifft und von dieser nach O hin reflektiert wird, dann läßt sich zeigen, daß der von der Lichtwelle durchlaufene Weg der kürzeste ist, welchen überhaupt ein von A aus nach dem Spiegel MN und von diesem nach O hin gehender Körper nehmen kann. Verbinden wir nämlich einen auf der Spiegelfläche beliebig angenommenen Punkt X mit A und O, ziehen wir ferner aus A auf MN ein Lot AC, welches wir um seine eigene Länge bis D verlängern, und verbinden wir noch D mit B und X, so ist AB = BD, AX = DX und zufolge des Reflexionsgesetzes ∠ OBM = ABN = DBN, also OBD eine gerade Linie. Da nun in dem Dreiecke OXD die Seite DO < DX + OX ist, so ist folglich auch AB + BO < AX + OX.

(Fig. 244.)



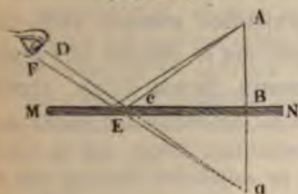
Vermöge des soeben erwiesenen Gesetzes ist natürlich auch die Zeit, welche eine Lichtwelle braucht, um von einem Punkte nach einem anderen durch Reflexion von einer ebenen Spiegelfläche zu gelangen, indem dieselbe das Reflexionsgesetz befolgt, die möglichst kürzeste.

§. 192. **Regelmäßige Reflexion.** Man unterscheidet die regelmäßige und die unregelmäßige Reflexion. Besonders an glatten Flächen werden durch die erstere Bilder der Körper, von welchen das Licht ausgeht, hervorgebracht, während das unregelmäßig zurückgeworfene Licht, das sogenannte diffuse Licht, uns die Körper, von denen das Licht zurückge[illegible]n, sichtbar macht. — Glatte

Flächen, welche deutliche Bilder der Gegenstände zu zeigen vermögen, von denen Licht auf dieselben auffällt, werden **Spiegel** genannt. Man unterscheidet **ebene** und **gekrümmte Spiegel**; wir beschränken uns hier auf die Erörterung der Erscheinungen der ebenen Spiegel; von gekrümmten Spiegeln wird weiter unten (§. 215) die Rede sein.

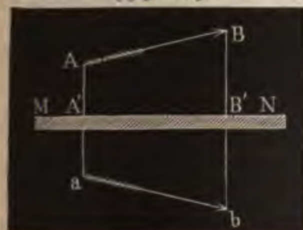
Es sei MN (Fig. 245) der Durchschnitt eines vollkommen ebenen Spiegels, A ein leuchtender Punkt vor demselben; dann wird der senkrecht auffallende Strahl AB, welcher den Namen **Hauptstrahl** führt, in sich selbst zurückgeworfen; ein schief auffallender Strahl AC dagegen wird in der Richtung CD so zurückgeworfen, daß Winkel DCM gleich ACN ist. Verlängern wir AB und CD, bis sie sich in a schneiden, so ist Winkel BCa = DCM = ACN, daher auch AB = aB, d. h. die rückwärts fortgesetzte Verlängerung des reflektierten Strahles CD schneidet den verlängerten Hauptstrahl AB in einem Punkte a, welcher ebensoweit hinter dem Spiegel liegt, als sich der leuchtende Punkt A vor demselben befindet. — Was wir für den einfallenden Strahl AC und für den reflektierten Strahl CD dargethan haben, läßt sich ebenso für jeden andern schief einfallenden Strahl, z. B. für den Strahl AE und den zugehörigen reflektierten Strahl EF erweisen. Die von dem leuchtenden Punkte A auf den Spiegel auffallenden Strahlen werden also sämtlich so zurückgeworfen, daß sich die rückwärts fortgesetzten Verlängerungen der reflektierten **Strahlen in einem Punkte a vereinigen, welcher ebensoweit hinter dem Spiegel liegt, als sich der leuchtende Punkt A vor demselben befindet.** Ein gegen den Spiegel gewendetes, etwa zwischen CD und EF befindliches Auge wird folglich von den reflektierten Strahlen gerade so getroffen, als wenn dieselben von dem Punkte a ausgegangen wären; es muß dasselbe daher in a **ein Bild des leuchtenden Punktes A erblicken.**

(Fig. 245.)



Es sei ferner AB (Fig. 246) ein leuchtender Gegenstand vor dem Spiegel MN; dann sind, wenn wir AA′ und BB′ senkrecht auf MN ziehen und aA′ = AA′ und bB′ = BB′ machen, a und b zufolge des Vorhergehenden die hinter dem Spiegel erscheinenden Bilder der leuchtenden Punkte A und B. Da nun, wie leicht zu sehen, die Bilder aller zwischen A und B befindlichen Punkte des leuchtenden Gegenstandes AB zwischen a und b zu liegen kommen, so muß das vor dem Spiegel befindliche Auge in demselben **ein Bild ab erblicken, welches mit dem Gegenstande AB gleiche Größe und Gestalt hat und ebensoweit hinter dem Spiegel als dieser vor demselben liegt.**

(Fig. 246.)



Wenn der Gegenstand AB der Ebene des Spiegels MN parallel ist, so gilt dieses auch von dem Bilde ab; bildet der Gegend mit der Ebene des Spiegels einen Winkel, *so bildet auch das Bild* mit dem Spiegel an der anderen Seite einen

ebenso großen Winkel. In einem unter 45° gegen den Horizont geneigten S erscheinen daher die Bilder aufrechter Gegenstände wagerecht und die Bilder rechter Gegenstände aufrecht; und in einem wagerecht liegenden Spiegel, z. B. i ebenen Oberfläche des Wassers, erscheinen die Bilder aufrechter Gegenstände au Kopf gestellt u. dgl. m.

Wir haben im vorhergehenden angenommen, daß die Spiegelfläche eine kommene Ebene bildet; dies ist jedoch bei unsern besten Spiegeln, auch wenn die aufs sorgfältigste poliert sind, nie vollständig der Fall; es kann daher auc Anblick des Bildes im Spiegel den Anblick des Gegenstandes niemals vollko ersetzen. Das Spiegelbild giebt natürlich den Gegenstand um so schärfer und ge wieder, je weniger die Spiegelfläche von einer vollkommen ebenen Fläche ab

Die vollkommensten Spiegel sind die Metallspiegel; die gewöhnlichen Glasspiegel, welche hinteren Seite mit Zinnamalgam belegt sind, leiden an dem wesentlichen Fehler, daß sie d wohl auch mehrfache Bilder geben, welche dadurch entstehen, daß die auffallenden Strahlen nic von der hinteren, mit Zinnamalgam belegten, sondern auch von der vorderen Fläche des Glases geworfen werden, daß ferner die von der hintern Fläche reflektierten Strahlen zum Teil v vorderen wieder nach innen und dann abermals von der hinteren Fläche zurückgeworfen werden Diese Bilder decken sich, wenn der leuchtende Gegenstand und das Auge dem Spiegel senkrecht geg stehen und die beiden Flächen des Glases parallel laufen; sie treten deutlicher auseinander der leuchtende Gegenstand schmal, z. B. eine Lichtflamme ist und die Strahlen schief auf den auffallen und also auch schief nach dem Auge reflektiert werden. Zu optischen Versuchen man daher bloß Metallspiegel oder an der Rückseite geschwärzte Scheiben von Spiegelglas an, nur von der vorderen Seite das Licht zurückwerfen, an der hinteren aber dasselbe absorbiere die letzteren jedoch von dem auffallenden Lichte nur einen kleinen Teil reflektieren, so haben denselben entstehenden Bilder nur eine geringe Helligkeit; sie stehen daher in dieser Hinsicht den spiegeln weit nach.

Wenn man zwei Spiegel einander parallel gegenüberstellt, so erscheinen von einem denselben befindlichen Gegenstande unzählige Bilder, indem jedes Bild in dem einen wieder e in dem andern hervorruft. Diese wiederholten Bilder werden jedoch, da mit jeder folgenden R Licht verloren geht, immer schwächer, bis sie für unsere Wahrnehmung endlich ganz verschwin

Wenn die Ebenen zweier Spiegel einen Winkel einschließen, so ist die Zahl der Bilder, dieselben von einem zwischen ihnen befindlichen Gegenstande erzeugen, nicht mehr unendlic

(Fig. 247.)



sondern begrenzt, im allgemeinen um so größer, je der Winkel ist, unter welchem die Ebenen der zusammenstoßen. Beträgt dieser Winkel z. B. für di Spiegel CD und CE (Fig. 247) 45°, und befin zwischen denselben irgend ein Gegenstand in A, so wenn wir zur leichtern Konstruktion der Bilder n Abstande AC um C einen Kreis beschreiben, auf zunächst von dem Gegenstande A in dem Spiegel Bild in a; dieses erzeugt wieder ein Bild in dem CE in dem Punkte a'; von diesem Bilde entsteht au ein Bild in dem Spiegel CD in a'', welches noch dem Spiegel CE ein Bild a''' hervorbringt. Dies Bild bildet sich jedoch nicht weiter ab, da es hin Spiegel CD liegt. — Ferner entsteht von dem Gegens in dem Spiegel CE das Bild b, welches in dem Spiegel CD abermals ein Bild in b' hervo dieses Bild bewirkt wieder in dem Spiegel CE ein Bild in b''; und von diesem Bilde entsteht noch in dem Spiegel CD ein Bild in a''', wo [illegible] its aufgeführten Bilde zusamm

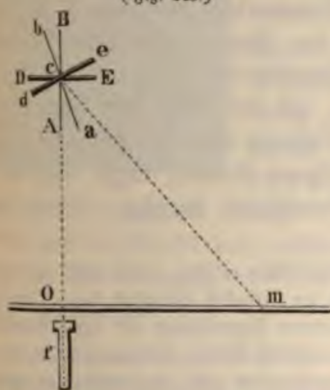
Man erblickt folglich im ganzen den Gegenstand achtmal, also sovielmal, als der Winkel von 45° in 360° enthalten ist. — Bilden überhaupt die Ebenen zweier Spiegel einen Winkel α miteinander, der in 360° aufgeht, z. B. n mal enthalten ist, so entstehen von einem zwischen den beiden Spiegeln befindlichen Gegenstande in beiden zusammen $n - 1$ Bilder.

Auf der Vervielfältigung der Bilder durch den Winkelspiegel beruht eine unterhaltende Spielerei, das Kaleidoskop, welches aus zwei in eine Röhre gefaßten und unter einem Winkel gegeneinander geneigten Spiegeln besteht, in denen sich kleine an dem einen Ende der Röhre befindliche Gegenstände einem am andern Ende in die Röhre blickenden Auge vervielfältigt und in sternförmiger Gruppierung zeigen.

Eine wichtige Anwendung des ebenen Spiegels ist ferner der Heliostat. Derselbe besteht aus einem ebenen Spiegel, welchem durch ein Uhrwerk oder mit der Hand eine solche Bewegung erteilt wird, daß die auf denselben fallenden Strahlen der Sonne auch während des (scheinbaren) Fortrückens derselben immer in der nämlichen Richtung reflektiert werden.

Eine andere sehr nützliche Anwendung findet der ebene Spiegel bei dem als Spiegelablesung bezeichneten Verfahren, welches dazu dient, den Drehungswinkel eines um eine feste Achse beweglichen Körpers, z. B. eines Magnetstabes, mit großer Genauigkeit zu messen. Zu diesem Zwecke befestigt man an dem um eine vertikale Achse in horizontaler Ebene drehbaren Stabe einen Spiegel DE (Fig. 248) so, daß die Ebene desselben zur Achse des Stabes AB senkrecht ist. Dem Spiegel gegenüber ist in der Entfernung von mehreren Metern ein kleines Fernrohr f aufgestellt, und unter demselben ist in horizontaler Richtung und parallel zur Ebene des Spiegels DE, also senkrecht zur Achse des Stabes AB, wenn derselbe sich in der normalen Lage befindet, eine Skala angebracht. In dem Fernrohre sind zwei sehr feine, sich senkrecht schneidende Fäden so angebracht, daß der Kreuzungspunkt derselben in die optische Achse des Fernrohrs fällt. Bei der normalen Lage des Stabes AB und des Spiegels DE deckt der Kreuzungspunkt der Fäden den Nullpunkt des Spiegelbildes der Skala. Erleidet aber der Stab eine Drehung, so wird offenbar auch der Spiegel um den nämlichen Winkel gedreht. Ist z. B. die Achse des Stabes in die Lage ab, die Ebene des Spiegels in die Lage de übergegangen, so wird die Größe der Drehung durch den Winkel aCA = eCE gemessen, welchen wir mit φ bezeichnen wollen. Das Fadenkreuz im Fernrohr deckt nun nicht mehr den Nullpunkt o der Skala, sondern einen andern Punkt m, nämlich denjenigen, für welchen zufolge des Reflexionsgesetzes Winkel mca = acA ist, wonach denn Winkel mcA = 2φ ist. Die Größe dieses Winkels ergiebt sich aber aus der Gleichung $\operatorname{tang} 2\varphi = om : oc$.

(Fig. 248.)



Aus der Fig. 248 geht auch noch leicht hervor, daß bei der Drehung eines Spiegels ein von diesem zurückgeworfener Lichtstrahl um einen Winkel gedreht wird, der doppelt soviel Grade hat als der Drehungswinkel des Spiegels. Offenbar muß sich ferner bei einer Drehung des Spiegels auch das Bild eines leuchtenden Punktes in gleicher Weise um die Achse des Spiegels drehen, wie ein von dem Spiegel zurückgeworfener Lichtstrahl. Es beschreibt demnach das Bild um die Drehungsachse einen Kreisbogen, welcher doppelt soviel Grade hat, als der Winkel, um welchen sich der Spiegel dreht.

§. 193. Unregelmäßige Reflexion. Wir haben oben (§. 191) gesehen, daß ein auf eine ebene Fläche auffallender Lichtstrahl unter demselben Winkel, unter welchem er auffällt, zurückgeworfen wird. Daß wir dennoch Körper, welche nur von einer Seite her erleuchtet sind, nicht bloß nach der dem Reflexionsgesetze entsprechenden Richtung, sondern nach allen Seiten hin zu sehen vermögen, beruht einerseits *darauf, daß die Oberfläche* der Körper niemals vollkommen eben, sondern

überall mit Erhabenheiten und Vertiefungen versehen ist, andererseits und wohl hauptsächlich darauf, daß die auffallenden Lichtstrahlen nicht bloß von der Oberfläche reflektiert werden, sondern auch bis zu einer gewissen Tiefe in das Innere des Körpers eindringen und von den unter der Oberfläche liegenden Molekülen nach allen möglichen Richtungen zurückgeworfen werden. Wir werden weiter unten (§. 204) von diesem Lichte, welches das diffuse genannt wird, ausführlicher handeln.

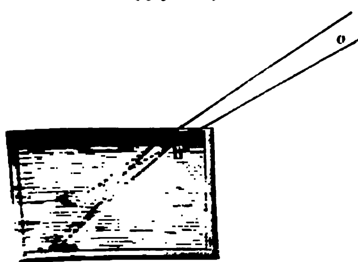
§. 194. **Morgen- und Abenddämmerung.** Der unregelmäßigen Reflexion, welche die Sonnenstrahlen an den in der Atmosphäre schwebenden Wolken, Dunstteilchen u. dgl. erleiden, wenn die Sonne so tief unter dem Horizonte steht, daß ihre Strahlen nicht mehr direkt in unser Auge gelangen, wohl aber die oberen Schichten der Atmosphäre erleuchten, haben wir die Erscheinung der Morgen- und Abenddämmerung zu verdanken. Man nimmt gewöhnlich an, daß die Dämmerung dann anfängt oder endet, wenn die Sonne 18° unter dem Horizonte steht. Dieselbe dauert in unseren Breiten während der längsten Sommertage die ganze Nacht, weil in diesen Tagen auch um Mitternacht die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte noch keine 18° beträgt. Die Dämmerung ist am kürzesten im März und im Oktober und währt dann nur ungefähr zwei Stunden. In der Nähe des Äquators ist dieselbe, weil die Sonne hier in fast senkrechter Richtung über den Horizont empor- und unter denselben hinabsteigt, kürzer als in höheren Breiten, wozu auch die in den tropischen Gegenden größere Reinheit der Atmosphäre beiträgt. (Vergl. auch die math. Geographie §. 17.)

Die Reflexion, welche die Strahlen der Sonne in der Atmosphäre erleiden, trägt auch **am Tage**, wenn die Sonne über dem Horizonte steht, zur Vermehrung der Helligkeit wesentlich bei. Ohne diese und die Reflexion, welche die Sonnenstrahlen an den verschiedenen Gegenständen auf der Erdoberfläche erfahren, würden wir selbst mitten am Tage nur die direkt von der Sonne beschienenen Gegenstände sehen können; in unseren Wohnungen würde, wenn die Sonnenstrahlen nicht unmittelbar in dieselben einfallen, eine nächtliche Finsternis herrschen und jede vor die Sonne tretende Wolke würde uns aus der Tageshelle plötzlich in Dunkelheit versetzen u. dgl. m.

D. Von der Dioptrik oder der Brechung des Lichtes.

§. 195. **Das Brechungsgesetz.** Wenn das Licht aus einem Mittel in ein anderes, z. B. aus der Luft in Wasser übergeht, so bildet der in das zweite Mittel eintretende Strahl in den meisten Fällen mit dem auffallenden keine gerade Linie, sondern einen Winkel; man sagt daher, das Licht werde bei seinem Übergange aus einem Mittel in ein anderes gebrochen.

(Fig. 249.)



Wenn man auf dem Boden eines Gefäßes mit undurchsichtigen Wänden eine Münze a (Fig. 249) legt und dann so weit zurückgeht, bis die Münze dem Auge in o durch den Rand des [illegible] verdeckt wird, also ei[illegible] [illegible]e nach dem Auge gehende gerade [illegible] den Rand des Gefäßes [illegible] so wird die Münze wieder

ichtbar, wenn in das Gefäß Wasser gegossen wird. Das in o befindliche Auge rblickt die Münze aber nicht in a, sondern in einem höher liegenden Punkte a'. Die on der Münze a ausgehenden Strahlen können daher nicht in einer geraden Linie ins uge gelangt sein, sondern müssen bei ihrem Übergange aus dem Wasser in die Luft ne Ablenkung von der geraden Linie, z. B. der Strahl ab in der Richtung bo, erfahren iben. — So wie die Münze dem Auge jetzt höher erscheint, als sich dieselbe wirklich efindet, so gilt dies auch von dem ganzen sichtbar gewordenen Teile des Bodens. benso erscheinen Bäche und Teiche, wenn man bis auf den Grund derselben sehen ınn, weniger tief, unter der Oberfläche des Wassers schwimmende Fische dieser näher s sie wirklich sind. Ein zum Teil ins Wasser getauchter Stab sieht wie gebrochen aus, indem der in das Wasser getauchte Teil höher zu liegen scheint, als er sich wirklich befindet u. dgl. m.

(Fig. 250.)



Um das Gesetz der Brechung, welche das Licht bei dem Übergange aus einem Mittel in ein anderes erleidet, bequemer ausdrücken zu können, schicken wir folgende Begriffsbestimmungen voraus: — Eine Linie hck (Fig. 250), welche auf der Trennungsfläche mn beider Mittel in dem Punkte c, in welchem der einfallende Strahl ac dieselbe trifft, senkrecht steht, heißt das **Einfallslot**, der Winkel ach, elchen der einfallende Strahl ac mit dem Einfallslote ch bildet, der **Einfalls**=**inkel** und der Winkel bck, welchen der gebrochene Stahl bc mit dem Einfallslote ck ildet, der **Brechungswinkel**. — Hiernach läßt sich das Brechungsgesetz folgender=aßen aussprechen:

1) Das auf die Oberfläche eines durchsichtigen Körpers senkrecht auffallende icht wird nicht gebrochen, sondern geht in gerader Linie fort; nur das schief auf=allende Licht wird von der geraden Linie abgelenkt und zwar um so mehr, je hiefer es auffällt.

2) **Der einfallende Strahl und der gebrochene Strahl liegen mit em Einfallslote in einer Ebene**, also in einer Ebene, welche auf der Oberfläche es das Licht brechenden durchsichtigen Körpers senkrecht ist.

3) Geht das Licht aus einem dünneren Mittel in ein dichteres Mittel von erselben materiellen Beschaffenheit, z. B. aus dünnerer Luft in dichtere über, wird es **zum** Einfallslote, im entgegengesetzten Falle aber **vom** Einfalls=te gebrochen.

4) Haben die beiden Mittel nicht die nämliche materielle Beschaffenheit, so **ird das Licht in den meisten Fällen ebenfalls bei dem Übergange von m dünneren in den dichteren Körper zum Einfallslote und bei dem bergange von dem dichteren ins dünnere Mittel vom Einfallslote brochen.** Dieses ist jedoch nicht immer der Fall; vielmehr brechen insbesondere e brennbaren Körper das Licht stärker als andere von gleicher oder selbst größerer ichtigkeit (s. die unten folgende Tabelle). So bricht insbesondere der Diamant das cht so auffallend stark, daß schon **Newton** hieraus auf seine Brennbarkeit schloß.

5) Für die nämlichen zwei Mittel findet zwischen dem **Sinus***) des **Einfallswinkels** und dem **Sinus** des **Brechungswinkels** ein **bestimmtes Verhältnis** statt. — Dieses Verhältnis, welches der **Brechungsexponent** genannt wird, ist z. B. für Luft und Wasser ungefähr gleich 4 : 3, für Luft und Glas ungefähr 3 : 2.

Denken wir uns nun mit einem beliebigen Radius um c (Fig. 251) einen Kreis beschrieben, welcher den einfallenden Strahl in a, den gebrochenen in b schneidet, und von diesen Punkten aus auf das Einfallslot hk die Senkrechten ad und bf gezogen, so ist $\sin acd = ad : ac$, $\sin bcf = bf : bc$, mithin, da $ac = bc$ ist, $\sin acd : \sin bcf = ad : bf$. Zufolge des Vorstehenden ist also z. B. für den Übergang aus Luft in Wasser das Verhältnis $ad : bf = 4 : 3$. — Ist die Lage des einfallenden Strahles ac gegeben, so kann man zufolge des eben ausgesprochenen Gesetzes den gebrochenen Strahl finden, wenn man mit einem beliebigen Radius ac um c einen Kreis beschreibt, auf das Einfallslot hk die Senkrechte ad zieht, dieselbe in 4 gleiche Teile teilt, dann 3 dieser Teile auf die Verlängerung dg aufträgt, durch den Endpunkt g mit hk die Parallele bg zieht und endlich c mit b verbindet; dann ist bc der zu dem einfallenden Strahle ac gehörige gebrochene Strahl im Wasser. — Umgekehrt ist, wenn in b sich ein leuchtender Punkt befindet und ein von demselben ausgehender Strahl bc die Oberfläche des Wassers in c erreicht, ac der zugehörige gebrochene Strahl in der Luft.

(Fig. 251.)



Ein Lichtstrahl wird um so stärker gebrochen, je größer der Winkel ist, welchen er mit dem Einfallslote bildet. Bezeichnen wir nämlich diesen Winkel mit α, den Brechungswinkel mit β und den Brechungsexponenten für irgend zwei Substanzen mit n, so ist

$$\sin\alpha : \sin\beta = n : 1,$$

folglich

$$\sin\alpha = n \sin\beta$$

und

$$\sin\alpha - \sin\beta = n\sin\beta - \sin\beta = (n-1)\sin\beta,$$

wofür wir nach einer bekannten trigonometrischen Umformung auch setzen können

$$2\sin\frac{\alpha-\beta}{2}\cos\frac{\alpha+\beta}{2} = (n-1)\sin\beta,$$

also

$$\sin\frac{\alpha-\beta}{2} = \frac{(n-1)\sin\beta}{2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}}.$$

Aus dieser Gleichung folgt, daß der Unterschied zwischen dem Einfallswinkel α und dem Brechungswinkel β zunimmt, der Lichtstrahl also um so mehr von der geraden Linie abgelenkt wird, wenn Winkel α und folglich auch Winkel β wächst, da in diesem Falle $\sin\beta$ zu-, $\cos\frac{\alpha+\beta}{2}$ aber abnimmt.

*) Für die mit der Trigonometrie nicht vertrauten Leser diene folgendes zur Erklärung: In einem rechtwinkeligen Dreieck acd (Fig. 251) nennt man das Verhältnis der Kathete ad zur Hypotenuse ac den Sinus des der Kathete gegenüberliegenden Winkels acd; man schreibt kurz $\sin acd = ad : ac$. Dieses Verhältnis hat für alle rechtwinkeligen Dreiecke, welche den nämlichen Winkel acd haben, denselben Wert, da solche Dreiecke einander ähnlich sind; es ändert sich aber, wenn der Winkel acd größer oder kleiner wird. Setzen wir noch in dem Dreieck acd die Hypotenuse $ac = 1$, so ist $\sin acd = ad$; der Sinus wird also, wenn man [illegible]use als Einheit nimmt, durch die gegenüberliegende Kathete gemessen.

Das oben angeführte Brechungsgesetz (Nr. 5) ist zuerst von dem Holländer Snellius ums Jahr 1620 entdeckt und später durch Descartes bekannt gemacht worden.

§. 196. Fortsetzung. Wenn ein Lichtstrahl durch einen in einem durchsichtigen Mittel befindlichen durchsichtigen Körper, welcher von parallelen Wänden begrenzt ist, z. B. durch eine in der Luft befindliche Glasscheibe, hindurchgeht, so ist der austretende Lichtstrahl cd (Fig. 252) mit dem auffallenden ab parallel. Denn dieser Lichtstrahl wird in b bei seinem Eintritt in das Glas ebensosehr zum Einfallslote als bei seinem Austritt in c vom Einfallslote gebrochen. Wir sehen daher durch unsere Fensterscheiben alle Gegenstände bis auf eine unbedeutende Verrückung, welche von der Dicke des Glases abhängt, an derselben Stelle, an welcher sie sich wirklich befinden. Dieses ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn die Flächen des Glases, durch welche das Licht hindurchgeht, mit einander einen Winkel bilden. So erscheinen z. B. durch ein sogenanntes Rautenglas die Gegenstände vervielfältigt, weil die auf die verschiedenen Flächen auffallenden Strahlen an jeder eine andere Brechung erleiden und daher in ebensovielfach verschiedenen Richtungen aus dem Glase austreten und in das Auge gelangen.

(Fig. 252.)



Weiße Gegenstände zeigen sich durch ein Glas, dessen gegenüberstehende Wände einander nicht parallel sind, z. B. durch ein Rautenglas oder durch ein Prisma gesehen, nicht bloß an einer anderen Stelle, sondern auch bunt gefärbt oder mit farbigen Rändern umgeben, weil mit jeder Brechung zugleich eine Farbenzerstreuung verbunden ist, eine Erscheinung, mit welcher wir uns weiter unten (§. 202) ausführlicher beschäftigen werden.

Um den Brechungsexponenten für einen festen durchsichtigen Körper mit größerer Schärfe zu bestimmen, giebt man diesem die Gestalt eines dreiseitigen Prismas. Nehmen wir an, es sei ABC (Fig. 253) der senkrechte Durchschnitt eines solchen Prismas, LE ein in der Ebene dieses Durchschnitts auf dasselbe von einem entfernten leuchtenden Punkte auffallender Lichtstrahl, EF der in das Prisma eintretende gebrochene, FO der austretende Strahl, dann wird ein in O befindliches Auge den leuchtenden Punkt L durch das Prisma in der Richtung OL'' sehen, direkt aber in der Richtung OL' erblicken, von welcher wir annehmen können, wenn der leuchtende Punkt hinreichend entfernt ist, daß sie der Richtung des einfallenden Strahles LE parallel ist. Dies vorausgesetzt, ist der Winkel L'OF = LDL''. Der Kürze wegen wollen wir diesen Winkel, um welchen der einfallende Strahl durch die Brechung im Prisma von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt worden ist, mit d bezeichnen. Dreht man das Prisma langsam um seine Achse, so findet man, daß auch der Ablenkungswinkel d seine Größe ändert, bei einer gewissen Stellung des Prismas am kleinsten wird und bei fortgesetzter Drehung wieder zunimmt. Das durch das Prisma gesehene Bild des leuchtenden Punktes scheint sich diesem bis auf einen gewissen Abstand zu

(Fig. 253.)



nähern und entfernt sich dann wieder von demselben. Die gemessene Größe des kleinsten Ablenkungswinkels d und die bekannte Größe des brechenden Winkels des Prismas ACB, welchen wir mit c bezeichnen, reichen aus, um den Brechungsexponenten n der Substanz, aus welcher das Prisma besteht, zu berechnen.

(Fig. 254.)



Um dies darzuthun, ziehen wir durch E und F (Fig. 254) die Einfallslote GK und HK und setzen der Kürze wegen Winkel

$$LEG = a,\ KEF = b,\ OFH = a',\ KFE = b'.$$

Dann ist Winkel $b + b' + EKF = 180^0$ und, wie leicht zu sehen, auch $EKF + c = 180^0$, folglich

$$1)\ b + b' = c.$$

Ferner ist Winkel $d = DEF + DFE = a - b + a' - b' = a + a' - (b + b')$, also

$$2)\ d = a + a' - c.$$

Um nun zu untersuchen, unter welcher Voraussetzung die Summe $a + a'$ ihren kleinsten Wert erhält, addieren wir die aus dem Brechungsgesetze folgenden Gleichungen

$$\sin a = n \sin b$$

und

$$\sin a' = n \sin b'$$

und erhalten

$$3)\ \sin a + \sin a' = n (\sin b + \sin b')$$ oder vermöge einer bekannten trigonometrischen Umformung

$$2 \sin \frac{a + a'}{2} . \cos \frac{a - a'}{2} = 2n \sin \frac{b + b'}{2} \cos \frac{b - b'}{2},$$ also, da $b + b' = c$ ist,

$$\sin \frac{a + a'}{2} = \frac{n . \sin {}^1/_2\, c . \cos \frac{b - b'}{2}}{\cos \frac{a - a'}{2}}.$$

Ist nun $a > a'$, also auch $b > b'$, so ist nach der Anmerkung des vorhergehenden §. $a - b > a' - b'$, mithin auch $a - a' > b - b'$ und

$$\cos \frac{a - a'}{2} < \cos \frac{b - b'}{2},\ \text{folglich}\ \sin \frac{a + a'}{2} > n . \sin {}^1/_2\, c.$$

Dasselbe Resultat folgt aber auch, wenn $a' > a$ angenommen wird, indem Gleichung (3) bei dieser Annahme in

$$2 \sin \frac{a' + a}{2} . \cos \frac{a' - a}{2} = 2n . \sin \frac{b' + b}{2} . \cos \frac{b' - b}{2}$$

umgeformt werden kann. Der Sinus von $\frac{a + a'}{2}$ wird dagegen $= n . \sin {}^1/_2\, c$, wenn $b = b'$, also auch $a = a'$ ist. In diesem Falle, welchen man den symmetrischen Durchgang nennt, erhält also $\sin \frac{a + a'}{2}$, damit aber auch $a + a'$ und vermöge Gleichung (2) auch der Ablenkungswinkel d seinen kleinsten Wert.

Für diesen Fall verwandeln sich aber die Gleichungen (1) und (2) in:

$$2b = c \text{ und } d = 2a - c,$$

also

$$b = {}^1/_2 c \text{ und } a = {}^1/_2 (d + c).$$

Setzen wir diese Werte in die Gleichu

n b

so erhalten wir $\sin {}^1\!/_2\,(d + c) = n \sin {}^1\!/_2\, c,$

$$n = \frac{\sin {}^1\!/_2\,(d + c)}{\sin {}^1\!/_2 c}.$$

braucht daher für die Bestimmung des Brechungsexponenten nur den brechenden Winkel des mas c und den Winkel der kleinsten Ablenkung d, welche ein durch das Prisma hindurch- der Lichtstrahl erleidet, zu messen.

Da mit jeder Brechung zugleich eine Farbenzerstreuung (s. §. 202, a) verbunden ist, so erhält für jede Gattung farbiger Strahlen n einen anderen Wert. Man nimmt als mittleren Brechungs- enten den der gelben Strahlen an.

Die hier für die Bestimmung des Brechungsexponenten angegebene Methode, bei welcher man zu untersuchenden Körper die Form eines Prismas giebt, gewährt einerseits die größte Genauigkeit andererseits den Vorteil, daß sie auch auf Körper von geringer Größe und beliebiger Gestalt an- bar ist. Da nämlich die Fläche AB gar nicht und von den Flächen AC und BC nur derjenige durch welchen der gebrochene Lichtstrahl hindurchgeht, zur Anwendung kommt, so hat man, um Körper, für welchen man den Brechungsexponenten bestimmen will, die hierzu geeignete Gestalt eben, weiter nichts nötig, als an denselben zwei nicht parallele ebene Flächen anzuschleifen. derselbe hierfür zu kostbar, will man z. B. den Brechungsexponenten eines Edelsteines bestimmen, ringt man denselben in eine Flüssigkeit, welche denselben Brechungsexponenten besitzt und bestimmt mehr den Brechungsexponenten der Flüssigkeit. So taucht man Edelsteine in Olivenöl, welchem so lange Kassia- oder Sassafras-Öl, zwei Öle von großem Brechungsexponenten, zumischt, bis feste Körper in der Flüssigkeit verschwindet. Beiläufig bemerkt lassen sich auf diese Weise echte manten von unechten unterscheiden.

Um den Brechungsexponenten für Flüssigkeiten zu finden, füllt man ein hohles Prisma, n brechende Flächen durch zwei Platten von Spiegelglas mit parallelen Wänden gebildet werden, der zu untersuchenden Flüssigkeit an. Es erleidet nämlich ein Lichtstrahl, welcher aus einem Mittel A h ein Mittel B in ein Mittel C übergeht, wenn B von parallelen Wänden begrenzt ist, genau lbe Brechung, als wenn derselbe unmittelbar aus A in C übergegangen wäre.

Ebenso wendet man auch für Gase ein ähnliches hohles Prisma an, in welches man das zu rsuchende Gas eintreten läßt. Um aber zunächst den Brechungsexponenten für atmosphärische Luft finden, macht man dieses Prisma möglichst luftleer und mißt die Ablenkung, welche ein durch elbe hindurchgehender Lichtstrahl erleidet und die natürlich nach der entgegengesetzten Richtung gt, als wenn dasselbe mit einer Flüssigkeit oder mit einer das Licht stärker als atmosphärische brechenden Gasart gefüllt ist. — Da der Brechungsexponent für ein Gas mit der Dichtigkeit lben sich ändert, so muß das mit dem Gase angefüllte Prisma zugleich mit einem Barometer und rmometer verbunden sein, um aus den Angaben dieser Instrumente die Dichtigkeit des angewendeten s herleiten zu können.

Wie wir im folgenden §. sehen werden, giebt der Brechungsexponent n für zwei Mittel, z. B. atmosphärische Luft und Wasser, das Verhältnis der Geschwindigkeiten an, welche das Licht in n Mitteln hat. Aus diesem Satze folgt weiter: — Wenn man für drei Mittel A, B und C N oder N′ die Brechungsexponenten bezeichnet, wenn das Licht aus A oder B in C übergeht, so ür den Fall, daß das Licht aus A in B übergeht, der Brechungsexponent gleich N : N′.

Die folgende Tabelle enthält für verschiedene Körper den Brechungsexponenten n der gelben hlen und außerdem noch die Dichte d.

	n	d		n	d
nant	2,47	3,52	Bergkrystall	1,56	2,65
phor	2,14	1,83	Kronglas	1,53	2,53
hir	1,77	4,00	Terpentinöl	1,47	0,89
tglas	1,72	3,42	Alkohol	1,36	0,79
	1,57	3,20	Wasser	1,34	1,00
wefelkohlenstoff	1,63	1,27			

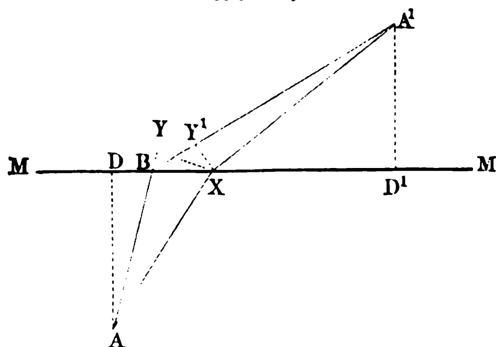
Für atmosphärische Luft ist bei 0° C. und 76 cm Barometerstand n = 1,000294.

§. 197. Erklärung der Brechung. Das Brechungsgesetz ergiebt sich nach der Vibrationshypothese aus den Gesetzen der Wellenbewegung, wenn man annimmt, daß der in verschiedenen Körpern enthaltene Äther eine ungleiche Dichtigkeit besitzt und zwar in den das Licht stärker brechenden Substanzen eine größere als in den schwächer brechenden, und daß infolgedessen die das Licht fortpflanzenden Ätherwellen in jenen mit geringerer Geschwindigkeit fortschreiten, als in diesen. Der **Brechungsexponent zweier Mittel giebt** dann nach dieser Hypothese das **Verhältnis der Geschwindigkeiten** an, mit denen sich das Licht in den beiden Mitteln fortpflanzt. So ist z. B. für den leeren Raum und Wasser der Brechungsexponent gleich 4 : 3; da nun das Licht im leeren Raume in jeder Sekunde 40 000 Meilen durchläuft, so würde es im Wasser nur 30 000 Meilen in der Sekunde zurücklegen. Ebenso muß das Licht in der Luft sich etwas langsamer als im leeren Raume fortpflanzen, da es beim Übergange aus diesem in die Luft zum Einfallslote gebrochen wird.

Durch direkte Versuche hat Foucault die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser auf ähnliche Weise, wie in der Luft (s. oben §. 190, Anm.) bestimmt und gefunden, daß wirklich die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser sich zu der in der Luft wie 3 : 4 verhält.

In der Anmerkung zu §. 191 haben wir gesehen, daß, wenn eine Lichtwelle von einem Punkte nach einem anderen durch Reflexion von einer ebenen Fläche gelangt, die Zeit, welche dieselbe hierzu braucht, indem sie dem Reflexionsgesetze folgt, die möglichst kürzeste ist. Das nämliche gilt auch in Hinsicht des Brechungsgesetzes. Wenn zwei das Licht ungleich brechende Mittel durch eine ebene Grenzfläche getrennt sind und eine Lichtwelle von einem Punkte in dem einen Mittel sich mit Befolgung des Brechungsgesetzes nach einem Punkte in dem andern Mittel hin bewegt, so ist die Zeit, in welcher sie diesen Weg durchläuft, die möglichst kürzeste, kürzer, als wenn die Lichtwelle irgend einen andern vom Brechungsgesetze abweichenden Weg eingeschlagen hätte, (ähnlich wie wir, wenn wir von einem Punkte auf einem frisch gepflügten Lande uns nach einem Punkte auf einem noch nicht umgepflügten Lande begeben wollen, — in dem Falle, daß die Verbindungslinie der beiden Punkte nicht auf der Trennungslinie der beiden Länder senkrecht steht, — nicht auf der geraden sondern auf einer gebrochenen Linie in der kürzesten Zeit an unser Ziel gelangen).

(Fig. 255.)



Es seien A und A' (Fig. 255) Punkte in zwei das Licht ungleich brechenden und durch eine ebene Grenzfläche getrennten Mitteln, eine durch diese Punkte gelegte senkrechte Ebene schneide die Grenzfläche in der Linie MM; ABA' und AXA' seien die Wege zweier Lichtwellen, von denen die erstere dem Brechungsgesetze folgt, die andere davon abweicht. Bezeichnen wir die Zeiten, in denen die Lichtwellen diese Wege durchlaufen, für die erstere mit t und für die andere mit T, ferner die Geschwindigkeiten der Lichtwellen in den Mitteln, in welchen sich die Punkte A und A' befinden, mit c und c', fällen wir dann noch aus A und A' auf MM die Lote AD und A'D' und aus X auf die verlängerte AB und auf A'B die Lote XY und XY', und setzen wir den Einfallswinkel $BAD = BXY = \alpha$ und den Brechungswinkel $BA'D' = BXY' = \alpha'$, so ist

$$t = \frac{AB}{c} + \frac{A'B}{c'} = \frac{AY}{c} - \frac{BY}{c} + \frac{A'Y'}{c'} + \frac{BY'}{c'}.$$

Zufolge des Brechungsgesetzes ist

$$c : c' = \sin\alpha : \sin\alpha' = BY : BY',$$

also

$$\frac{BY}{c} = \frac{BY'}{c'}$$

und folglich

$$t = \frac{AY}{c} + \frac{A'Y'}{c'}.$$

Verbinden wir hiermit die Gleichung

$$T = \frac{AX}{c} + \frac{A'X}{c'},$$

so ergiebt sich, da $AX > AY$ und $A'X > A'Y'$ ist,

$$T > t.$$

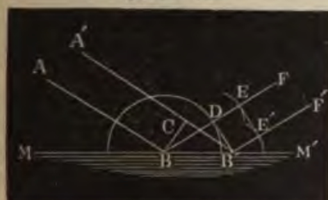
Wir haben den Punkt X an der Seite des Punktes B angenommen, an welcher der Punkt D liegt; der Beweis bleibt im wesentlichen derselbe, wenn wir den Punkt X an der anderen Seite von B annehmen.*)

Aus den Principien der Wellenlehre lassen sich sowohl die Gesetze der Brechung, als auch die der Reflexion in sehr ähnlicher Weise ableiten, weshalb wir auch beide Erklärungen hier zusammen-fassen.

Wenn eine Lichtwelle, welche sich durch den in den Poren eines durchsichtigen Mittels enthaltenen Äther fortpflanzt, auf ein anderes Mittel trifft, in welchem der Äther eine verschiedene, größere oder geringere Dichtigkeit besitzt, so entstehen bei der Ankunft dieser Welle an dem zweiten Mittel und durch die Erschütterung der in beiden Mitteln der Grenzfläche zunächst liegenden Ätherteilchen zwei Wellensysteme, von denen das eine sich in dem Äther ausbreitet, welcher in den Poren des ersten Mittels enthalten ist und die Erscheinungen der Reflexion erzeugt, während das andere Wellensystem sich in dem Äther des zweiten Mittels ausbreitet und die Erscheinungen der Refraktion hervorbringt.

Wir betrachten zunächst die Reflexion. Es seien also AB und A'B' (Fig. 256) zwei von demselben leuchtenden Punkte herkommende Strahlen, d. h. zwei zu der nämlichen sphärischen Welle gehörige Radien, welche wir uns so nahe denken wollen, daß wir ihre Richtungen als parallel und den Durchschnitt, in welchem eine durch dieselben gelegte Ebene die sphärische Lichtwelle durchschneidet, zwischen diesen beiden Radien als eine gerade Linie BC ansehen können. Diese nämliche Ebene durchschneide die Grenzfläche, durch welche die beiden Mittel, z. B. Luft und Wasser, getrennt werden, in der Linie MM'. Indem nun die Lichtwelle BC zuerst im Punkte B an dieser Grenzfläche anlangt, erschüttert sie dasjenige Ätherteilchen, welches sich hier in dem ersten Mittel, d. h. in demjenigen, in welchem die Ätherwelle BC fortschreitet, befindet; und indem dieses Ätherteilchen seine Erschütterung den benachbarten Ätherteilchen mitteilt, entsteht eine um den Punkt B als Mittelpunkt sich ausbreitende und in dem Äther, welcher in den Poren des ersten Mittels enthalten ist, fortschreitende Welle. Auf gleiche Weise erzeugen auch die übrigen Teile der Lichtwelle BC bei ihrer Ankunft an der Grenzfläche MM' Wellen, welche sich in dem Äther des ersten Mittels ausbreiten, und deren Mittelpunkte sämtlich auf der Linie BB' liegen, die wir bei dem geringen Abstande der beiden Lichtstrahlen AB und A'B' voneinander als eine gerade Linie ansehen können. Da diese Wellen, welche den Namen Elementarwellen führen, sich in dem nämlichen Mittel wie die ankommende Hauptwelle BC ausbreiten,

(Fig. 256.)



*) Auf die von dem Verfasser in der 11. Auflage ausgesprochene Bitte um Mitteilung eines elementaren Beweises für den im obigen behandelten Satz haben die Herren Dr. Lottner in Lippstadt, Schmalmack in Averlack bei Brunsbüttel und Dr. Matthiessen in Husum die Güte gehabt, dem Verfasser derartige Beweise mitzuteilen, wofür derselbe diesen Herren hiermit seinen aufrichtigen Dank ausspricht. Der oben ausgeführte Beweis ist dem von Herrn Lehrer Schmalmack aufgefundenen nachgebildet.

so müssen sie auch mit derselben eine gleiche Geschwindigkeit haben; in dem Augenblicke, in welchem der Punkt C dieser Welle in B′ anlangt, muß daher die vom Punkte B ausgehende Welle sich bereits in eine Kugelfläche ausgebreitet haben, deren Radius BD = B′C ist. Da ferner die von den Mittelpunkten B und B′ ausgehenden elementaren Wellen mit gleicher Geschwindigkeit fortschreiten, so muß beständig der Radius der ersteren den der letzteren um die nämliche Größe BD übertreffen. Wenn wir daher an den um B mit B′C beschriebenen Kreis aus B′ die Tangente B′D und an diese den Radius BD ziehen, ferner um B mit einem beliebigen Radius BE und um B′ mit einem DE gleichen Radius B′E′ Kreise beschreiben, so stellen diese Kreise Durchschnitte der um die Mittelpunkte B und B′ sich ausbreitenden elementaren Wellen in der Art dar, daß die von dem Punkte B ausgehende Welle in dem nämlichen Augenblicke in E ankommt, in welchem die von B′ ausgehende Welle in E′ anlangt. Die um die Mittelpunkte B und B′ sich ausbreitenden elementaren Wellen haben die mit B′D Parallele EE′ zur gemeinschaftlichen Tangente. Wie leicht zu sehen, müssen aber auch alle anderen elementaren Wellen, welche von zwischen B und B′ liegenden Mittelpunkten ausgehen, in dem nämlichen Momente an der Linie EE′ anlangen und dieselbe zur gemeinschaftlichen Berührungslinie haben. Die zwischen den parallelen Radien BE und B′E′ liegenden Bogen dieser elementaren Wellen schließen sich um so enger an die gemeinschaftliche Berührungslinie EE′ an, je weiter wir uns den Punkt E auf der Linie BF fortgerückt denken, und gehen endlich in diese selbst über. Sämtliche zwischen BF und B′F′ fallenden und in gleicher Richtung fortschreitenden elementaren Wellen vereinigen sich daher in dieser Richtung zu einer einzigen kräftigen Welle, deren Wirkung offenbar der Summe aller dieselbe zusammensetzenden elementaren Wellenteile gleich sein und folglich die Wirkung eines einzelnen elementaren Wellenteiles unendlich übertreffen muß. Ein solches Zusammenwirken der elementaren Wellen findet jedoch nur in der Richtung BF statt, da nur in dieser Richtung die von den verschiedenen Punkten der Linie BB′ ausgehenden elementaren Wellen sich an eine gemeinschaftliche Tangente anschließen, also die nämliche Richtung der Bewegung haben, während dieselben in jeder andern Richtung sich mannigfach durchkreuzen und gegenseitig stören.

Eine einzelne elementare Welle vermag auf das Auge keine wahrnehmbare Wirkung hervorzubringen; erst durch das Zusammenwirken der in gleicher Richtung fortschreitenden Teile sämtlicher von den verschiedenen Punkten der Fläche BB′ entspringenden elementaren Wellen geht in dieser Richtung ein wirksamer Lichtstrahl hervor.

In den rechtwinkligen Dreiecken BB′C und BB′D ist die Kathete BD = B′C gemacht, also auch Kathete BC = B′D und Winkel A′B′M = FBM′, folglich der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel, wie es das Reflexionsgesetz vorschreibt.

Wir wenden uns nun zur Ableitung des Refraktionsgesetzes. Indem die verschiedenen Teile des in der Richtung AB fortschreitenden Wellenstückes BC an die Grenzfläche MM′ gelangen, welche dasjenige Mittel, in welchem sich die Lichtwelle ausbreitet, von einem zweiten Mittel scheidet, erschüttern sie aber auch die an BB′ anliegenden Teilchen des in den Poren dieses zweiten Mittels enthaltenen Äthers, und indem diese Erschütterungen sich den benachbarten Teilchen dieses Äthers mitteilen, entsteht ein anderes in dem zweiten Mittel sich ausbreitendes Wellensystem. Hat dieses Mittel eine von dem ersteren verschiedene materielle Beschaffenheit, so wird die Dichtigkeit des Äthers in beiden Mitteln nicht notwendig dieselbe sein. Es werden dann auch die in diesem Mittel sich ausbreitenden Lichtwellen eine andere Geschwindigkeit als in dem ersten Mittel haben. Nehmen wir an, daß diese Geschwindigkeit für das zweite Mittel kleiner sei als für das erste und beschreiben dann mit einem Radius BD (Fig. 257), welcher gleich ist dem Wege, welchen eine Lichtwelle in dem zweiten Mittel in der nämlichen Zeit durchläuft, in welcher eine Lichtwelle in dem ersten die Länge B′C zurücklegt, um den Punkt B einen Kreis, so wird die elementare Welle, welche um den durch die Lichtwelle BC zuerst getroffenen Punkt B sich ausbreitet, bereits bis D gelangt sein, w… Punkt C der Lichtwelle BC in B′ anlangt und eine um diesen Punkt sich ausbreite… e erregt. Wenn wir nun an diesen Kreis

(Fig. 257.)



aus B' eine Tangente B'D ziehen, ferner um B mit einem beliebigen Radius BE und um B' mit einem DE gleichen Radius B'E' Kreise beschreiben und die beiden gemeinschaftliche Tangente EE' ziehen, so finden wir durch eine der vorhergehenden ganz analoge Überlegung, daß sämtliche elementaren Wellen, welche nacheinander in dem unter MM' liegenden Mittel dadurch entstehen, daß die zunächst an BB' anliegenden Ätherteilchen von den Teilchen der in der Richtung AB fortschreitenden Lichtwelle BC getroffen und erschüttert werden, zu gleicher Zeit an der allen gemeinschaftlichen Berührungslinie EE' anlangen und durch ihre Vereinigung in der Richtung BF einen wirksamen Lichtstrahl bilden, während sie in allen andern Richtungen sich durchkreuzen und gegenseitig stören.

Bezeichnen wir den Einfallswinkel mit e und den Brechungswinkel mit b, so ist, wie leicht zu sehen, e = CBB' und b = DB'B, folglich

$$\sin e : \sin b = \frac{B'C}{BB'} : \frac{BD}{BB'} = B'C : BD.$$

Zufolge der obigen Entwickelung sind aber B'C und BD die relativen Geschwindigkeiten der Lichtwellen in den beiden durch die Grenzfläche getrennten Mitteln; wir können daher die zuletzt erhaltene Proportion so aussprechen:

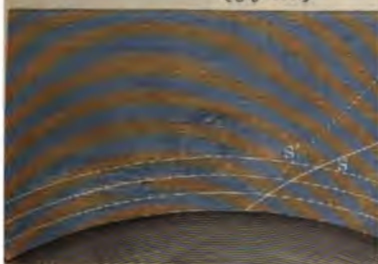
Der Sinus des Einfallswinkels verhält sich zum Sinus des Brechungswinkels wie die Geschwindigkeit der Lichtwellen in dem Mittel, aus welchem das Licht kommt, zu der Geschwindigkeit der Lichtwellen in dem Mittel, in welches das Licht übergeht.

Da wir nun das Verhältnis zwischen dem Sinus des Einfallswinkels und dem Sinus des Brechungswinkels den Brechungsexponenten genannt haben, so ist folglich der Brechungsexponent für zwei Mittel gleich dem Verhältnisse der Geschwindigkeiten des Lichtes in diesen beiden Mitteln.

Die vorstehende Ableitung des Gesetzes der Zurückwerfung und der Brechung des Lichtes ist zuerst (1690) von dem Holländer Huyghens, einem Zeitgenossen Newtons, gegeben, aber erst in unserem Jahrhundert von den Physikern allgemein angenommen worden.

§. 198. Atmosphärische Strahlenbrechung. Indem das Licht der Sonne oder anderer Himmelskörper in die Atmosphäre eintritt, wird es zum Einfallslote gebrochen, und da die Dichtigkeit der Atmosphäre mit der Tiefe zunimmt, so erleidet das Licht, sowie es in die tieferen Schichten gelangt, immer neue Brechungen zum Einfallslote. Der Weg, welchen das Licht der Himmelskörper in der Atmosphäre durchläuft, ist daher keine gerade, sondern eine krumme Linie, und ein Beobachter an der Erdoberfläche erblickt einen Stern nicht in der Richtung SS (Fig. 258), in welcher sich derselbe wirklich befindet, sondern in der Richtung der Tangente S'S' der krummlinigen Bahn, in welcher das Licht in das Auge des Beobachters gelangt. Da die Brechungen, welche die von den Gestirnen ausgehenden Lichtstrahlen in der Atmosphäre erleiden, sämtlich zum Einfallslote stattfinden, so sehen wir alle

(Fig. 258.)



Gestirne in größerer Höhe über dem Horizonte, als sich dieselben wirklich befinden. Je schiefer die Lichtstrahlen auf die Atmosphäre auffallen, um so stärker werden sie auch gebrochen. Die Strahlenbrechung ist daher in der Nähe des Horizonts am größten und beträgt hier etwas über einen halben Grad. Da nun der Durchmesser der Sonne ebenfalls nicht viel über einen halben Grad ausmacht, so erblicken wir

die Sonne gerade über dem Horizonte, der unterste Sonnenrand scheint für unser Auge den Horizont zu berühren, wenn eine durch das Auge gezogene horizontale Linie eben den obersten Sonnenrand treffen würde, also die Sonne sich ganz unter dem Horizonte befindet. Die Strahlenbrechung in der Atmosphäre nimmt mit der Höhe rasch ab; sie beträgt für 45° Höhe kaum noch eine Minute und ist im Zenith Null, weil die in dieser Richtung einfallenden Strahlen durch die verschiedenen Schichten der Atmosphäre senkrecht hindurchgehen und also keine Brechung erleiden. Sie hat jedoch nicht beständig dieselbe Größe, sondern ändert sich mit der Dichtigkeit und dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft.

Indem die Strahlenbrechung den scheinbaren Sonnenaufgang beschleunigt, den Untergang verzögert, verlängert sie die Dauer des Tages. Diese Verlängerung beträgt in unseren Breiten ungefähr sieben bis acht Minuten. Sie ist viel beträchtlicher in den Polargegenden und verlängert hier den längsten Tag und ebenso verkürzt sie die längste Nacht um mehrere Tage.

Das bisher Gesagte betraf zunächst die sogenannte **astronomische Strahlenbrechung**, d. h. die Brechung, welche das von den Gestirnen ausgehende Licht in der Atmosphäre erleidet. Aber auch das von einem **entfernten** Gegenstande auf der Erde in unser Auge gelangende Licht durchläuft keine gerade Linie. Denn eine unser Auge mit einem entfernten Gegenstande verbindende gerade Linie geht durch Schichten der Atmosphäre von ungleicher Dichtigkeit, da die Oberfläche der Erde keine Ebene bildet, sondern eine kugelförmige Gestalt hat. Wir erblicken daher auch entfernte irdische Gegenstände höher als sich dieselben wirklich befinden. Die irdische oder **terrestrische Strahlenbrechung** ist für entferntere Gegenstände beträchtlicher als für nähere, die astronomische Strahlenbrechung dagegen für alle Gestirne dieselbe. (S. auch die math. Geogr. §. 15.)

Wenn die Strahlenbrechung sehr groß ist, so werden zuweilen durch dieselbe unter dem Horizonte liegende entfernte Gegenstände sichtbar, welche man für gewöhnlich nicht sehen kann. Man beobachtet diese Erscheinung, welche von deutschen Seeleuten mit dem Worte **Kimmung** bezeichnet wird, nicht selten auf dem Meere und an den Küsten. So hat man z. B. an den Küsten von England bei Hastings verschiedenemal die ungefähr zehn Meilen entfernte französische Küste gesehen, obschon eine gerade, beide Küsten verbindende Linie die See durchschneiden würde. Auf gleichem Grunde beruhen auch wenigstens dem größten Teile nach die überraschenden (überdies noch durch die lebhafte Phantasie der Beobachter häufig sehr ausgeschmückten und vergrößerten) Erscheinungen der sogenannten **Fata Morgana** (Schlösser der Fee Morgana). Man erblickt nämlich an den Küsten Calabriens, besonders zu Reggio, der Küste Siciliens gegenüber zuweilen prachtvolle Schlösser, eine Menge von Säulen, ganze Landschaften mit Gebüsch, umherwandelnden Menschen, weidende Herden u. s. w., Erscheinungen, welche jedoch nach kurzer Zeit wieder verschwinden und wahrscheinlich dadurch entstehen, daß eine ungewöhnlich starke Strahlenbrechung die Stadt Messina und ihre Umgebungen für eine kurze Zeit sichtbar macht.

Gegenstände, welche man über einen geheizten Ofen hin sieht, scheinen zu zittern, indem die durch den Ofen erwärmte Luft in der kälteren emporsteigt, kältere und wärmere Luft aber wegen ihrer ungleichen Dichtigkeit das Licht verschieden stark brechen. — Ebenso dürfte das scheinbare Zittern oder Funkeln der Sterne auf den in der Atmosphäre beständig stattfindenden Strömungen kälterer und wärmerer Luft beruhen. Dasselbe ist bemerkbarer bei den Fixsternen, deren scheinbarer Durchmesser noch lange keine Sekunde erreicht, als bei den Planeten, deren scheinbarer Durchmesser mehrere Sekunden beträgt. Am Rande der Sonne und des Mondes [illegible] t nur durch stark vergrößernde Fernrohre wahrzunehmen.

Wegen der Strahlenbrechung bedarf jede astronomische Messung des Höhenwinkels eines Sternes und ebenso jede terrestrische Messung des Höhenwinkels eines entfernten Gegenstandes, z. B. eines Berges, einer Korrektion.

*§. 199. **Totale Reflexion.** Wir haben oben (§. 195) gesehen, wie man bei dem Übergange eines Lichtstrahls aus einem Mittel in ein anderes, z. B. aus Luft in Wasser, wenn der Brechungsexponent bekannt ist, zu jedem einfallenden Strahle ac (Fig. 259) durch eine leichte Konstruktion den zugehörigen gebrochenen Strahl bc findet. Diese Konstruktion zeigt zugleich deutlich, daß, wenn man den Einfallswinkel acd vergrößert, auch der Brechungswinkel bcf zunimmt. Während

(Fig. 259.)

aber der Einfallswinkel acd von Null bis 90° wachsen kann, kann der Brechungswinkel bcf bei dem Übergange des Lichtes aus einem dünneren in ein dichteres Mittel eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Man findet diesen Grenzwinkel, wenn man mit einem beliebigen Radius einen Kreis beschreibt, einen Radius cr (Fig. 260) in 4 gleiche Teile teilt und 3 dieser Teile auf den Radius cs aufträgt, hierauf durch den Endpunkt o eine Parallele mit dem Einfallslote hk zieht und den Punkt p, in welchem

(Fig. 260.)

dieselbe den Kreis durchschneidet, mit c verbindet; dann giebt der Winkel pck die äußerste Grenze an, welche kein Brechungswinkel bei dem Übergange des Lichtes aus Luft in Wasser übersteigen kann. Alle Lichtstrahlen, welche zwischen hc und cr die Oberfläche des Wassers in c treffen, werden so gebrochen, daß die gebrochenen Strahlen zwischen pc und kc fallen; keiner derselben kann zwischen pc und sc zu liegen kommen.

Denken wir uns nun einen leuchtenden Punkt im Wasser zwischen p und k, so ird ein von demselben ausgehender und die Oberfläche des Wassers in c treffender chtstrahl bei seinem Eintritte in die Luft zwischen hc und cr gebrochen, und der brochene Strahl wird sich um so mehr der wagerechten Lage cr nähern, je näher r leuchtende Punkt im Wasser an p und der einfallende Strahl an pc heranrückt. ird diese Lage überschritten, befindet sich ein leuchtender Punkt zwischen p und s, B. in t, so kann ein von demselben ausgehender und die Oberfläche des Wassers c erreichender Lichtstrahl tc nicht mehr in die Luft austreten. Denn da der infallswinkel tck im Wasser größer als der Grenzwinkel pck geworden ist, so üßte auch der gebrochene Winkel in der Luft größer als der rechte Winkel hcr sein, as offenbar nicht möglich ist, wenn der gebrochene Strahl in die Luft austreten soll.

Während diejenigen Strahlen im Wasser, für welche der Einfallswinkel kleiner s der Grenzwinkel pck ist, bei ihrer Ankunft an der Oberfläche des Wassers zum eil reflektiert und zum Teil gebrochen werden und in die Luft austreten, wird n Lichtstrahl tc im Wasser, welcher mit der Oberfläche desselben einen kleineren inkel als pcs oder, was dasselbe sagen will, mit dem Einfallslote einen größeren inkel als pck bildet, nur zurückgeworfen. Man nennt diesen Fall die totale

Reflexion, weil in demselben, soweit die Beobachtungen dies beurteilen lassen, alles auffallende Licht vollständig reflektiert wird.

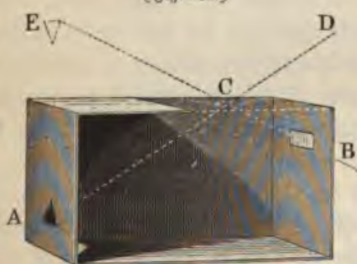
Wenn also hc einen undurchsichtigen Schirm vorstellt und im Wasser zwischen p und s', z. B. in t, sich ein leuchtender Punkt befindet, so wird derselbe von einem in der Luft an der anderen Seite des Schirmes zwischen h und r befindlichen Auge gar nicht gesehen werden können, weil die von t ausgehenden und die Oberfläche des Wassers zwischen c und r treffenden Lichtstrahlen sämtlich mit dem Einfallslote Winkel, welche größer als der Winkel der totalen Reflexion pck sind, bilden und daher gar nicht mehr in die Luft austreten, sondern ganz zurückgeworfen werden.

So wie wir oben durch eine einfache Konstruktion den Grenzwinkel der totalen Reflexion für Wasser (und Luft) bestimmt haben, so läßt sich derselbe durch ein ähnliches Verfahren auch für jede andere Substanz finden, wenn man den Brechungsexponenten kennt. Er fällt, wie leicht zu sehen, um so kleiner aus, je größer der Brechungsexponent ist.

Infolge der totalen Reflexion erscheinen kleine Luftblasen im Wasser wie glänzende Perlen. Auch Sprünge, überhaupt leere Räume in durchsichtigen Körpern werden vorzüglich durch die totale Reflexion sichtbar.

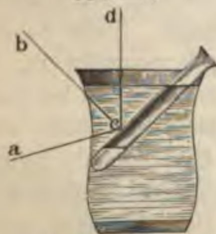
Um die Erscheinung der totalen Reflexion zu zeigen, kann der folgende einfache Apparat dienen. Ein längliches, viereckiges, im Innern schwarz angestrichenes Kästchen, welches Fig. 261 mit Hinweglassung der vorderen Seitenwand darstellt, ist oben zur einen Hälfte geschlossen, zur andern Hälfte offen. In den schmalen Seitenwänden sind zwei kleine Fensterchen A und B angebracht. Das Fensterchen A, welchem man zweckmäßig eine dreieckige Gestalt geben kann, befindet sich nahe am Boden, das andere runde oder viereckige Fensterchen B in größerer Höhe über demselben. Solange das Kästchen mit Luft gefüllt ist, erblickt ein in der Richtung ACD befindliches Auge durch die offene Hälfte des oberen Bodens das Fensterchen A. Wird aber das Kästchen mit Wasser gefüllt, so wird das Fensterchen A dem in dieser Richtung befindlichen Auge unsichtbar. Dagegen erblickt ein vor dem Fensterchen B befindliches Auge einmal durch das Wasser hindurch das Fensterchen A direkt, sodann aber auch in der Richtung ECB ein verkehrtes Spiegelbild desselben. Damit jedoch das Verschwinden und Sichtbarwerden des Fensterchens A in angegebener Weise stattfindet, muß der Winkel, welchen eine von dem Fensterchen A nach dem innern Rande des oberen Bodens gezogene Linie mit einer lotrechten Linie bildet, mehr als $48^1/_2{}^0$ betragen.

(Fig. 261.)



Auch der folgende Versuch ist sehr geeignet, die Erscheinung der totalen Reflexion zu zeigen. Ein cylinderförmiges Gläschen (Fig. 262), etwa ein Reagentiengläschen, welches unten mit etwas Wasser, übrigens mit Luft gefüllt ist, wird in schiefer Richtung in ein Glas mit Wasser getaucht; dann erscheint einem von oben her auf das Wasser und das eingetauchte Gläschen sehenden Auge der untere mit Wasser gefüllte Teil dieses Gläschens durchsichtig, der obere mit Luft gefüllte Teil dagegen, soweit er in das Wasser gesenkt ist, undurchsichtig und stark spiegelnd. Denn ein schief einfallender Lichtstrahl ac wird, wenn der Winkel acb, welchen er mit dem Einfallslote bc bildet, die oben angegebene Grenze überschreitet, nicht mehr in die Luft durchgelassen, sondern in der Richtung cd reflektiert.

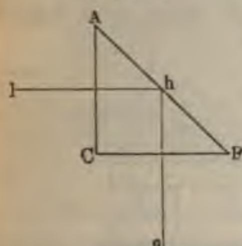
(Fig. 262.)



Der Grenzwinkel der totalen Reflexion pck (Fig. 206) beträgt für Wasser und Luft (ungefähr) $48^1/_2{}^0$, für Glas und Luft 41^0, für Diamanten und Luft nur 24^0. Überhaupt ist $\sin pck = 1 : n$.

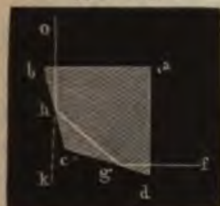
Wenn daher ein Lichtstrahl im Glase von dem Einfallslote um mehr als 41^0 abweicht, also mit der Oberfläche des Glases einen kleineren Winkel als 49^0 bildet, so tritt derselbe nicht mehr in die Luft aus, sondern wird zurückgeworfen. Hierauf beruht die Anwendung von Glasprismen als Spiegel bei manchen optischen Instrumenten. Sehr häufig benutzt man insbesondere ein rechtwinkeliges, gleichschenkeliges Prisma ABC (Fig. 263). Bei einem solchen dringt ein auf die eine Kathetenfläche AC senkrecht auffallender Lichtstrahl lh ungebrochen ein und trifft die Hypotenusenfläche AB unter 45^0, wird dort also, da der Grenzwinkel für Glas und Luft nur 41^0 beträgt, vollständig in der Richtung ho senkrecht zu der Kathetenfläche BC zurückgeworfen, und tritt daher durch diese ungebrochen wieder aus. Es verhält sich also die Hypotenusenfläche wie ein unter 45^0 gegen den auffallenden Lichtstrahl geneigter Spiegel; dabei ist die Spiegelung wegen der totalen Reflexion eine sehr vollkommene.

(Fig. 263.)



Ferner ist hier noch die camera lucida hervorzuheben, welche zum Abzeichnen von Gegenständen benutzt wird. Dieselbe besteht aus einem kleinen vierseitigen Glasprisma abcd (Fig. 264), welches bei a einen rechten Winkel, bei c einen Winkel von 135^0 und bei b und d Winkel von $67^1/_2{}^0$ hat. Wird dieses Prisma, welches von einem kleinen Stativ getragen wird, so gestellt, daß die obere Seite ab wagerecht, also ad lotrecht gerichtet ist, so trifft ein von einem leuchtenden Punkte f in wagerechter Richtung ausgehender Lichtstrahl die Seitenfläche ad in senkrechter Richtung und tritt also, ohne eine Brechung zu erleiden, in das Prisma ein. Da er mit der Fläche cd nur einen Winkel von $22^1/_2{}^0$ bildet, so kann er nicht wieder in die Luft austreten, sondern wird in der Richtung gh, welche mit bc den nämlichen Winkel von $22^1/_2{}^0$ bildet, zurückgeworfen und erleidet hier zum zweiten Male eine totale Reflexion in der Richtung oh. Ein in o befindliches Auge erblickt daher in der Richtung ok ein Bild des leuchtenden Punktes f, und da das Prisma klein ist und der Strahl ok nahe neben der Ecke b vorbeigeht, so kann das Auge auch noch ein in der deutlichen Sehweite wagerecht ausgebreitetes Papier und die auf dasselbe in der Richtung von ok gehaltene Spitze eines Bleistiftes sehen, wodurch es möglich wird, die Umrisse des abzubildenden Gegenstandes zu zeichnen. — Die durch die vordere Fläche ad ungebrochen hindurchgehenden und auf die hintere Fläche bc auffallenden Strahlen werden von derselben teils durchgelassen, teils in einer Richtung reflektiert, in der sie neben dem Auge vorbeigehen. Überdies ist die obere Fläche des Prismas ab mit einer an der untern Seite geschwärzten Platte bedeckt, welche nur durch eine bei b befindliche rundliche Öffnung Licht in das Auge gelangen läßt.

(Fig. 264.)

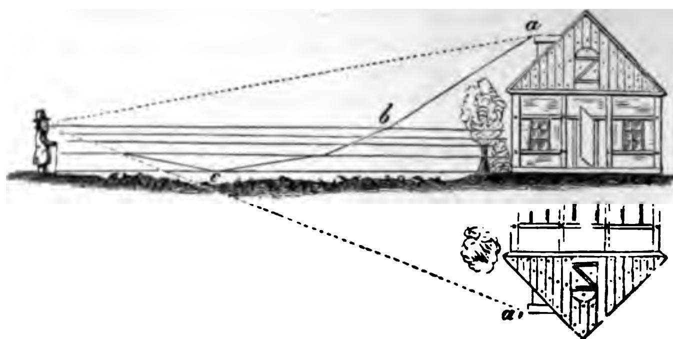


***§. 200. Luftspiegelung.** Auf der totalen Reflexion beruht eine der interessantesten Naturerscheinungen, die Luftspiegelung. Man sieht nämlich zuweilen in weiten Ebenen, an Meeresküsten oder auf der See an windstillen Tagen und bei großer Wärme der untersten Luftschichten entfernte Gegenstände, Häuser, Bäume, Schiffe, auch wohl ganze Dörfer und Landschaften oder entfernte Küsten über den Horizont erhoben, gleichsam in der Luft schwebend, und unter denselben ähnlich wie in stillstehendem Wasser, ihr verkehrtes Bild. Dieses verschwindet, wenn der Beobachter sich dem Gegenstande sehr nähert oder beträchtlich in die Höhe steigt.

Diese Erscheinungen lassen sich durch das im vorhergehenden Paragraphen entwickelte Gesetz der totalen Reflexion in folgender Art erklären: — Wenn an einem heitern und windstillen Tage die Oberfläche der Erde durch die Sonnenstrahlen stark erhitzt worden ist, so kann es geschehen, daß sich unmittelbar über dem Boden eine

wärmere und also dünnere Luftschicht, über dieser eine zweite, dritte, weniger erwärmte und daher dichtere Luftschicht u. s. w. lagert, bis in einer gewissen Entfernung vom Erdboden, wie es die gewöhnliche Regel ist, die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe wieder abnimmt. Ein von einem höher gelegenen Gegenstande ausgehender Lichtstrahl ab (Fig. 265) wird da, wo er in die erste wärmere und dünnere Luftschicht tritt, vom Einfallslote und ebenso bei dem Übergange in die darunter liegenden noch wärmeren und dünneren Luftschichten gebrochen, bis er endlich in c so schief auffällt, daß er nicht weiter gebrochen werden kann, sondern ganz zurückgeworfen wird. Ein in der Richtung des zurückgeworfenen Strahles befindliches Auge wird daher in

(Fig. 265.)



dieser Richtung in a′ ein Bild des Punktes a, und da Ähnliches von allen anderen Punkten des Gegenstandes gilt, soweit derselbe über wärmeren Luftschichten emporragt, ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes, außerdem aber auch noch durch direkt einfallendes Licht den Gegenstand selbst in seiner natürlichen Lage erblicken.

Um größerer Einfachheit willen ist der Weg des reflektierten Lichtstrahles in der Figur als eine gebrochene Linie dargestellt; in der Wirklichkeit aber bildet derselbe eine krumme Linie, da zwischen den dünneren und dichteren Luftschichten keine Abstufung, sondern ein ganz allmählicher Übergang stattfindet.

Man ersieht aus dieser Darstellung, daß die Erscheinung nur dann eintreten kann, wenn die Strahlen sehr schief auffallen, also der Gegenstand sich in großer Entfernung vom Auge befindet. Die Erscheinung muß daher verschwinden, wenn das Auge sich dem Gegenstande zu sehr nähert, oder wenn sich dasselbe in einer zu großen Höhe befindet und nicht mehr von den schräg austretenden Lichtstrahlen getroffen werden kann.

Bei der bisher beschriebenen Erscheinung zeigt sich von einem entfernten Gegenstande ein verkehrtes Bild unter demselben. Auf der See oder an den Küsten erblickt man jedoch auch nicht selten ein verkehrtes Bild eines sehr entfernten Schiffes hoch über demselben. Diese Erscheinung, welche man besonders häufig auf kälteren Meeren beobachtet, wird gerade durch die umgekehrten Bedingungen der vorhergehenden hervorgebracht, nämlich wenn das Meerwasser eine bedeutend niedrigere Temperatur hat als die Luft in einer gewissen Höhe und daher die unteren, durch das Meerwasser abgekühlten Luftschichten eine beträchtlich größere Dichtigkeit besitzen als die höheren und wärmeren Luftschichten. Das Auge und der Gegenstand müssen

sich hierbei innerhalb der kälteren Luftschichten und unter den wärmeren spiegelnden Luftschichten befinden, in welchen nach dem Principe der totalen Reflexion (Fig. 266)

(Fig. 266.)



wie in einem wagerechten Spiegel von tiefer befindlichen Gegenständen ein höher liegendes und umgekehrtes Bild erscheint.

Dicht über dem verkehrten Bilde zeigt sich zuweilen noch ein aufrechtes Bild. Dasselbe dürfte als umgekehrtes Luftbild des im Wasser entstehenden verkehrten Bildes des Schiffes anzusehen sein und daher wegen der doppelten Umkehrung aufrecht erscheinen.

Schließlich bemerken wir noch, daß die Luftbilder häufig in der Luft zu schwanken scheinen und sich meist mit unbestimmten Umrissen oder verzerrt zeigen.

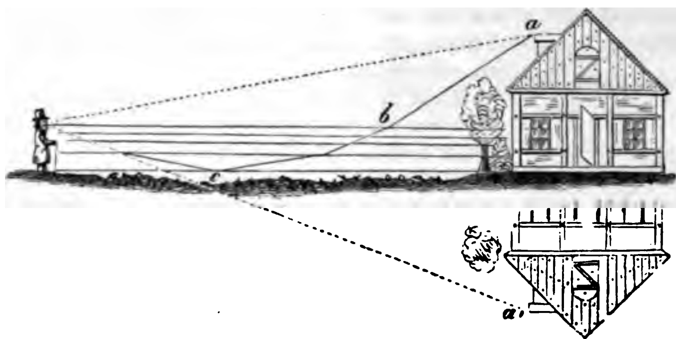
***§. 201. Ein Grund der Undurchsichtigkeit.** Zufolge des Vorhergehenden erleidet das Licht bei dem Durchgange durch einen durchsichtigen Körper allemal einen zweifachen Verlust, indem ein Teil desselben reflektiert, ein Teil absorbiert und nur ein Teil durchgelassen wird. Wie wir oben (§. 199) gesehen haben, kann es selbst geschehen, daß ein Lichtstrahl in einem stärker brechenden Mittel an der Grenzfläche, welche dasselbe von einem schwächer brechenden Mittel scheidet, gar nicht durchgelassen wird, sondern die totale Reflexion erfährt, wenn nämlich der Einfallswinkel desselben eine gewisse Grenze überschreitet. Diese Grenze ist um so enger, je mehr das Brechungsvermögen des einen Mittels von dem des andern abweicht. Wenn daher Licht wiederholt aus einem Mittel in ein anderes übergeht, so wird dasselbe im allgemeinen um so mehr geschwächt, je größer der Unterschied in dem Brechungsvermögen beider Mittel ist.

Es erklärt sich hieraus, warum der Schnee, der Schaum auf dem Seifenwasser oder Biere fast undurchsichtig ist; ferner, warum mattgeschliffenes oder pulverisiertes Glas in der Luft nur wenig Licht durchläßt, aber wieder durchsichtig wird, wenn man es mit Wasser oder noch besser mit Terpentinöl, welches mit dem Glase fast gleiches Brechungsvermögen besitzt, übergießt; — warum ein undurchsichtiges Papier beinahe durchsichtig wird, wenn man es mit Öl tränkt, welches die in den Poren desselben enthaltene Luft austreibt.

Glas und andere durchsichtige Körper, welche infolge der Rauheit ihrer Oberfläche die Durchsichtigkeit eingebüßt haben, zeigen sich wieder als durchsichtig, wenn man sie in eine Flüssigkeit taucht, mit welcher sie nahezu gleiches Brechungsvermögen besitzen. — Die Juweliere können die im Inneren eines ungeschliffenen Edelsteines vielleicht vorhandenen Risse dadurch entdecken, daß sie denselben in Sassafras- oder ein ähnliches Öl tauchen, in welchem er durchsichtig wird.

wärmere und also dünnere Luftschicht, über dieser eine zweite, dritte, weniger erwärmte und daher dichtere Luftschicht u. s. w. lagert, bis in einer gewissen Entfernung vom Erdboden, wie es die gewöhnliche Regel ist, die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe wieder abnimmt. Ein von einem höher gelegenen Gegenstande ausgehender Lichtstrahl ab (Fig. 265) wird da, wo er in die erste wärmere und dünnere Luftschicht tritt, vom Einfallslote und ebenso bei dem Übergange in die darunter liegenden noch wärmeren und dünneren Luftschichten gebrochen, bis er endlich in c so schief auffällt, daß er nicht weiter gebrochen werden kann, sondern ganz zurückgeworfen wird. Ein in der Richtung des zurückgeworfenen Strahles befindliches Auge wird daher in

(Fig. 265.)



dieser Richtung in a′ ein Bild des Punktes a, und da Ähnliches von allen anderen Punkten des Gegenstandes gilt, soweit derselbe über wärmeren Luftschichten emporragt, ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes, außerdem aber auch noch durch direkt einfallendes Licht den Gegenstand selbst in seiner natürlichen Lage erblicken.

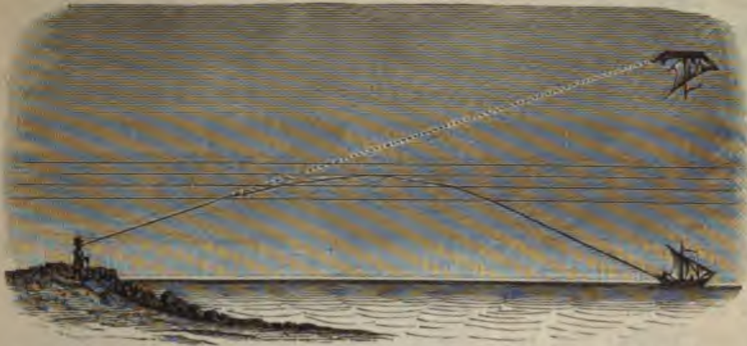
Um größerer Einfachheit willen ist der Weg des reflektierten Lichtstrahles in der Figur als eine gebrochene Linie dargestellt; in der Wirklichkeit aber bildet derselbe eine krumme Linie, da zwischen den dünneren und dichteren Luftschichten keine Abstufung, sondern ein ganz allmählicher Übergang stattfindet.

Man ersieht aus dieser Darstellung, daß die Erscheinung nur dann eintreten kann, wenn die Strahlen sehr schief auffallen, also der Gegenstand sich in großer Entfernung vom Auge befindet. Die Erscheinung muß daher verschwinden, wenn das Auge sich dem Gegenstande zu sehr nähert, oder wenn sich dasselbe in einer zu großen Höhe befindet und nicht mehr von den schräg austretenden Lichtstrahlen getroffen werden kann.

Bei der bisher beschriebenen Erscheinung zeigt sich von einem entfernten Gegenstande ein verkehrtes Bild unter demselben. Auf der See oder an den Küsten erblickt man jedoch auch nicht selten ein verkehrtes Bild eines sehr entfernten Schiffes hoch über demselben. Diese Erscheinung, welche man besonders häufig auf kälteren Meeren beobachtet, wird gerade durch die umgekehrten Bedingungen der vorhergehenden hervorgebracht, nämlich wenn das Meerwasser eine bedeutend niedrigere Temperatur hat als die Luft in einer gewissen Höhe und daher die unteren, durch das Meerwasser abgek[illegible]n eine beträchtlich größere Dichtigkeit besitzen als die höheren und [illegible] Das Auge und der Gegenstand müssen

sich hierbei innerhalb der kälteren Luftschichten und unter den wärmeren spiegelnden Luftschichten befinden, in welchen nach dem Principe der totalen Reflexion (Fig. 266)

(Fig. 266.)



wie in einem wagerechten Spiegel von tiefer befindlichen Gegenständen ein höher liegendes und umgekehrtes Bild erscheint.

Dicht über dem verkehrten Bilde zeigt sich zuweilen noch ein aufrechtes Bild. Dasselbe dürfte als umgekehrtes Luftbild des im Wasser entstehenden verkehrten Bildes des Schiffes anzusehen sein und daher wegen der doppelten Umkehrung aufrecht erscheinen.

Schließlich bemerken wir noch, daß die Luftbilder häufig in der Luft zu schwanken scheinen und sich meist mit unbestimmten Umrissen oder verzerrt zeigen.

*§. 201. **Ein Grund der Undurchsichtigkeit.** Zufolge des Vorhergehenden erleidet das Licht bei dem Durchgange durch einen durchsichtigen Körper allemal einen zweifachen Verlust, indem ein Teil desselben reflektiert, ein Teil absorbiert und nur ein Teil durchgelassen wird. Wie wir oben (§. 199) gesehen haben, kann es selbst geschehen, daß ein Lichtstrahl in einem stärker brechenden Mittel an der Grenzfläche, welche dasselbe von einem schwächer brechenden Mittel scheidet, gar nicht durchgelassen wird, sondern die totale Reflexion erfährt, wenn nämlich der Einfallswinkel desselben eine gewisse Grenze überschreitet. Diese Grenze ist um so enger, je mehr das Brechungsvermögen des einen Mittels von dem des andern abweicht. Wenn daher Licht wiederholt aus einem Mittel in ein anderes übergeht, so wird dasselbe im allgemeinen um so mehr geschwächt, je größer der Unterschied in dem Brechungsvermögen beider Mittel ist.

Es erklärt sich hieraus, warum der Schnee, der Schaum auf dem Seifenwasser oder Biere fast undurchsichtig ist; ferner, warum mattgeschliffenes oder pulverisiertes Glas in der Luft nur wenig Licht durchläßt, aber wieder durchsichtig wird, wenn man es mit Wasser oder noch besser mit Terpentinöl, welches mit dem Glase fast gleiches Brechungsvermögen besitzt, übergießt; — warum ein undurchsichtiges Papier beinahe durchsichtig wird, wenn man es mit Öl tränkt, welches die in den Poren desselben enthaltene Luft austreibt.

Glas und andere durchsichtige Körper, welche infolge der Rauheit ihrer Oberfläche die Durchsichtigkeit eingebüßt haben, zeigen sich wieder als durchsichtig, wenn man sie in eine Flüssigkeit taucht, mit welcher sie nahezu gleiches Brechungsvermögen besitzen. — Die Juweliere können die im Inneren eines ungeschliffenen Edelsteines vielleicht vorhandenen Risse dadurch entdecken, daß sie denselben in Sassafras- oder ein ähnliches Öl tauchen, in welchem er durchsichtig wird.

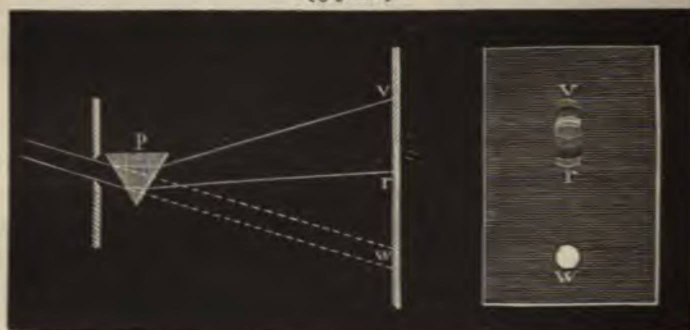
E. Von dem farbigen Lichte.

§. 202, a. Die Farbenzerstreuung oder Dispersion des Lichtes. Wir haben uns bisher vorzugsweise nur mit dem weißen Lichte beschäftigt und die Verschiedenheit der Farben ganz unberücksichtigt gelassen. Wir wenden uns nun zu der Untersuchung, wie sich in physikalischer Hinsicht die Lichtstrahlen, welche im Auge den Eindruck des weißen Lichtes hervorrufen, von denen, welche den Eindruck einer bestimmten Farbe erzeugen, und wie die verschiedenen Farben sich untereinander unterscheiden.

In dieser Hinsicht sind die folgenden (schon von Newton 1666 angestellten) Versuche entscheidend:

1) Läßt man durch eine kleine Öffnung in der Wand eines verfinsterten Zimmers das Licht der Sonne eintreten und fängt die einfallenden Strahlen mit einem weißen Schirme auf, welcher eine zur Achse des eintretenden Lichtkegels senkrechte Lage hat, so entsteht, wie wir oben (§. 189) gesehen haben, auf dem Schirme ein kreisförmiges Sonnenbild w (Fig. 267)*). Läßt man aber die Sonnenstrahlen durch ein Prisma p

(Fig. 267.)



aus Glas hindurchgehen, so bemerkt man an dem Bilde auf dem Schirme folgende Verschiedenheiten:

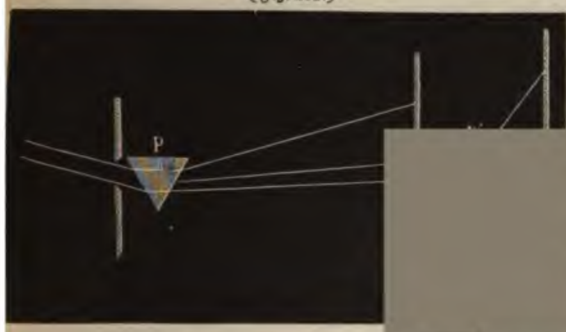
1) 1. Das Bild, Spektrum, erscheint nicht mehr an der früheren Stelle w, sondern, wenn der brechende Winkel des Prismas nach unten gekehrt ist, höher hinauf gerückt in vr, indem das durch das Prisma p hindurchgehende Sonnenlicht sowohl bei seinem Eintritt in das Prisma als auch beim Austritte aufwärts gebrochen wird. 2. Das Bild vr ist nicht, wie das vorher in w entstehende Bild, rund, sondern länglich, oben und unten von zwei Bogen, an den Seiten von geraden Linien begrenzt. 3. Während in w ein weißes Bild entstand, ist das Bild vr gefärbt. Man unterscheidet an demselben von unten nach oben hauptsächlich folgende Farben: rot, orange, gelb, grün, blau, violett. Diese Farben sind jedoch gegeneinander nicht scharf abgegrenzt, sondern gehen allmählich ineinander über.

*) In der Figur ist um größerer Einfachheit willen der durch die enge Öffnung eintretende kegelförmige Lichtbüschel cylinderförmig gezeichnet, und die Ebene des Schirmes durchschneidet denselben nicht senkrecht, sondern schief.

2) Wenn man die durch das Prisma hindurchgegangenen farbigen Strahlen auf eine Sammellinse (ein Brennglas) auffallen läßt, welches dieselben im Brennpunkte vereinigt, so erhält man wieder weißes Licht.

3) Befindet sich in diesem Schirme, welcher das von dem Prisma p (Fig. 268) erzeugte Spektrum auffängt, eine kleine Öffnung, so daß nur ein Strahl von einer bestimmten Farbe, z. B. ein grüner Strahl, durch dieselbe hindurchgehen kann, und läßt man diesen Strahl auf ein zweites Prisma p′ auffallen, so wird derselbe aufs neue gebrochen, aber ohne eine Änderung der Farbe zu erleiden. Er wird um so stärker durch das zweite Prisma gebrochen, je näher er sich im Spektrum dem violetten, um so schwächer, je näher er sich dem roten Ende befindet.

(Fig. 268.)



Aus diesen Versuchen ziehen wir folgende Schlüsse:

1) **Das weiße Licht ist nicht einfach, sondern aus einer großen** **lenge verschiedenfarbiger Strahlen zusammengesetzt.**

2) **Die verschiedenfarbigen Strahlen unterscheiden sich durch die** **erschiedene Größe ihrer Brechbarkeit voneinander.** Die am stärksten rechbaren sind die violetten, die am schwächsten brechbaren die roten.

3) **Während jede Strahlengattung für sich allein den Eindruck** **iner bestimmten Farbe im Auge hervorruft, bringen alle vereinigt die** **mpfindung des weißen Lichtes hervor,** wie besonders aus dem zweiten ersuche hervorgeht.

Nach der Vibrationshypothese unterscheiden sich die verschiedenen Farben ebenso, ie die verschiedenen Töne in der Musik, durch die ungleiche Zahl der Schwingungen, elche sie in gleichen Zeiten vollenden, und durch die ungleiche Länge der Wellen, it denen sie sich im Äther ausbreiten. Den Wellen des roten Lichtes kommt - ähnlich wie den tieferen Tönen in der Musik — die größte Wellenlänge und e kleinste Vibrationsgeschwindigkeit, den Wellen des violetten Lichtes — ähnlich ie den höheren Tönen — die kleinste Wellenlänge und die größte Vibrationsschwindigkeit zu.

Wie wir oben (§. 197) gesehen haben, verringert sich bei dem Übergange des Lichtes aus einem wächer in ein stärker brechendes Mittel die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und demgemäß auch die ellenlänge und zwar in dem Verhältnisse, welches durch den Brechungsexponenten angezeigt wird. a nun nach dem unter (2) angegebenen Gesetze der Brechungsexponent für die verschiedenfarbigen trahlen eine ungleiche Größe hat, die dem violetten Ende des Spektrums näheren Strahlen stärker, e dem roten Ende näheren schwächer gebrochen werden, so folgt hieraus weiter, daß die Verminderung, elche die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die Länge der Wellen erfahren, wenn das Licht aus nem schwächer in ein stärker brechendes Mittel übergeht, bei jenen nach einem größeren Verhältnisse s bei diesen erfolgt. — Dagegen erleiden die Vibrationsgeschwindigkeiten, die Mengen der Schwingungen, elche die Wellen der verschiedenfarbigen Strahlen in der Sekunde vollenden, infolge der Brechun

keine Veränderung. — Während nach dem eben Angeführten in stärker brechenden Mitteln sich die Wellen des violetten Lichtes langsamer als die des roten ausbreiten, bewegen die Wellen der verschiedenfarbigen Strahlen in dem Äther des Weltraums sich mit gleicher Geschwindigkeit fort, wie unter anderm aus den Verfinsterungen der Trabanten des Jupiter folgt, da im entgegengesetzten Falle die Trabanten vor ihrem gänzlichen Verschwinden bei Finsternissen farbig erscheinen müßten, was jedoch keineswegs der Fall ist.

So wunderbar es uns auch erscheinen mag, daß das weiße Licht nicht einfach, sondern aus einer großen Menge verschiedenfarbiger Strahlen zusammengesetzt ist, so müssen wir doch noch hinzufügen, daß die Sonne und andere leuchtende Körper außer denjenigen Strahlen, welche für sich im Auge den Eindruck einer bestimmten Farbe hervorbringen, noch andere Strahlen aussenden, welchen diese Fähigkeit abgeht, welche sich aber durch anderweitige Wirkungen, **thermische** oder **chemische** (vergl. unten §. 208 und 252), zu erkennen geben. Von diesen dunklen Strahlen haben die chemisch wirksamen eine noch größere Brechbarkeit und folglich auch eine größere Vibrationsgeschwindigkeit als die violetten, die thermisch wirksamen dagegen eine noch geringere Brechbarkeit und also auch eine geringere Vibrationsgeschwindigkeit als die roten. Die ersteren bezeichnet man daher auch als **ultraviolette**, die letzteren als **ultrarote** Strahlen. — So wie wir oben gesehen haben, daß nur solche Schallwellen, deren Vibrationsgeschwindigkeit gewisse Grenzen nicht überschreitet, als Ton von dem Ohr vernommen werden, so wird Ähnliches auch für das Auge in Hinsicht der Ätherwellen gelten können. Auch diese werden nur als Licht empfunden, wenn ihre Vibrationsgeschwindigkeit innerhalb bestimmter Grenzen fällt. — **Helmholtz** hat übrigens in einem ganz dunklen Raume bei Abhaltung der Hauptfarben Strahlen noch jenseits des Rot als braunrotes Licht und Strahlen jenseits des Violett als lavendelgraues Licht wahrgenommen.

Newton unterschied nach der Analogie der sieben Töne in der Musik sieben Hauptfarben: **rot, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett.** Wirklich nimmt auch das Blau in dem prismatischen Farbenbilde einen größeren Raum ein als die übrigen Farben, und lassen sich in demselben zwei Abstufungen, hell- und dunkelblau, unterscheiden.

Wenn man die obere ebene Fläche eines Kreisels in sieben Kreisausschnitte teilt, welche ungefähr dieselbe verhältnismäßige Größe haben, wie die Räume der sieben Farben im prismatischen Farbenbilde, jeden dieser Ausschnitte mit der entsprechenden Farbe bemalt und dann den Kreisel in rasche drehende Bewegung setzt, so zeigt sich die bemalte Scheibe dem Auge von einer schmutzig weißen Farbe. Ein reines Weiß kann schon deshalb nicht entstehen, weil es nicht möglich ist, Farbstoffe von ganz reiner Farbe zu erhalten, und weil im prismatischen Farbenbilde nicht bloß sieben, sondern unzählige Farben vorhanden sind.

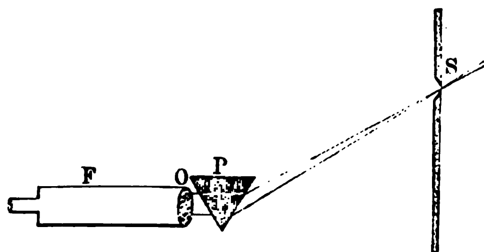
Da die verschiedenfarbigen Strahlen eine ungleiche Brechbarkeit haben, so können die das weiße Sonnenlicht zusammensetzenden farbigen Strahlen, welche parallel zueinander auf das Prisma auffallen, nicht wieder in parallelen, sie müssen vielmehr in divergierenden Richtungen aus demselben austreten, und es muß daher das längliche prismatische Farbenbild aus unzähligen ineinander eingreifenden verschiedenfarbigen Bildern, deren jedes allein eine **kreisförmige** Gestalt hat, zusammengesetzt sein, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man das durch die Brechung im Prisma dispersierte Sonnenlicht, ehe es auf den weißen Schirm fällt, durch ein Glas hindurchgehen läßt, welches nur einer Strahlengattung den Durchgang gestattet, oder das auf dem Schirme entstandene verschiedenfarbige Spektrum durch ein solches Glas betrachtet. Man erblickt dann, wenn man z. B. ein tief rot oder blau gefärbtes Glas anwendet, auf dem Schirme nicht mehr ein längliches verschiedenfarbiges, sondern ein rundes rotes oder blaues Sonnenbild.

§. 202, b. Die Fraunhoferschen Linien. Wenn man bei dem im [illegible] §. beschriebenen Versuche den das prismatische Spektrum auffangenden [illegible] [illegible] geringer Entfernung von dem Prisma aufstellt, so erscheint das Spektrum [illegible] aber weiß, indem hier noch sämtliche

verschiedenfarbige Strahlen sich mischen.*) Die verschieden brechbaren Strahlen treten dagegen um so mehr auseinander, je weiter der Schirm vom Prisma entfernt wird. Da aber mit der Vergrößerung dieses Abstandes die Lichtstärke rasch abnimmt (nach §. 188 im quadratischen Verhältnisse der Entfernung), so fällt das prismatische Farbenbild allzumatt aus, wenn man dasselbe in einem großen Abstande von dem Prisma auffängt.

Um diesen Übelstand zu vermeiden, ließ Fraunhofer (1814) die Sonnenstrahlen, denen er vermittelst eines Spiegels (Heliostaten) eine wagerechte Richtung gegeben hatte, in das verdunkelte Zimmer nicht durch eine kleine kreisförmige Öffnung, sondern durch einen feinen, in vertikaler Richtung in dem Laden angebrachten Spalt S (Fig. 269) eintreten. (Eine Vergrößerung der runden Öffnung würde die Mischung der verschiedenfarbigen Strahlen vermehrt haben.) Der in wagerechter Richtung durch den Spalt S eintretende Strahlenbüschel fiel in der Entfernung von mehreren Metern auf ein senkrecht stehendes Prisma P, welches unmittelbar vor dem Objektive O eines Fernrohrs F angebracht war. Das Fernrohr und das mit demselben fest verbundene Prisma waren so aufgestellt, daß die durch das Prisma gebrochenen Strahlen parallel zur Längsachse des Fernrohrs eintraten, und das Fernrohr war so weit ausgezogen, daß ohne das Prisma der Spalt vollkommen deutlich gesehen wurde.**) Ein Beobachter erblickte dann in dem durch das Fernrohr vergrößerten farbigen Spektrum eine Menge senkrechter dunkler Streifen. Einige dieser Linien, welche besonders deutlich hervortreten, sind von Fraunhofer mit den Buchstaben A, B, C, D, E, F, G, H (Fig. 270) bezeichnet worden.

(Fig. 269.)



Während die relativen Abstände der dunklen Linien nach der Verschiedenheit der Substanz, aus welcher das Prisma verfertigt ist (Kronglas, Flintglas, Wasser, Schwefelkohlenstoff u. dgl.), und mit der Größe des brechenden Winkels sich ändern, ist ihre Reihenfolge in den verschiedenen Farben des Spektrums unter allen Umständen die nämliche. Die Fraunhoferschen Linien sind daher für optische Untersuchungen von besonderer Wichtigkeit, weil sie feste Stellen in dem Spektrum angeben, an denen die Wellen der hier fehlenden Strahlen eine ganz bestimmte Länge haben. Während nämlich im allgemeinen die Wellenlängen der verschiedenfarbigen Strahlen,

*) Ebenso zeigt sich durch ein wagerecht gestelltes Prisma gesehen ein nicht zu schmaler weißer Gegenstand auf dunklem Grunde nur am obern und untern Rande gefärbt, in der Mitte aber weiß, wenn derselbe nicht weit vom Prisma entfernt ist; er erscheint dagegen in seiner ganzen Ausdehnung farbig und mit allen prismatischen Farben, wenn er nur schmal ist und hinreichend weit vom Prisma absteht.

**) Figur 269 stellt einen in wagerechter Ebene liegenden, also von oben, nicht von der Seite, gesehenen Durchschnitt des vertikalen Spaltes, des horizontalen Strahlenbüschels, des vertikal aufgestellten Prismas und des horizontal stehenden Fernrohrs dar.

sendet, so kann derselbe doch vermöge der von der Oberfläche reflektierten Strahlen beträchtlichen Glanz zeigen, wie dies z. B. bei schwarzer Wachsleinwand der Fall zu sein pflegt.

Die verschiedenen Abstufungen des Grau bilden die Übergänge von Weiß und Schwarz.

Wenn ein Körper von dem ins Innere eingetretenen weißen Sonnen- oder Tageslichte die Strahlen einer gewissen Farbe, z. B. der roten nur schwach, die Strahlen der übrigen Farben, insbesondere der komplementären grünen, erheblich stärker absorbiert, so müssen sowohl in dem an der Vorderfläche als auch, wenn der Körper durchsichtig ist, in dem an der Hinterfläche austretenden Lichte die roten Strahlen überwiegen, und der Körper muß uns daher sowohl im reflektierten als auch im durchgelassenen Lichte rot erscheinen. Es erklärt sich hieraus, warum die durchsichtigen Körper (bis auf wenige Ausnahmen, z. B. dünnes Goldblatt, §. 186) uns im durchgelassenen Lichte die nämliche Farbe wie im zurückgeworfenen zeigen.

Ist ein durchsichtiger Körper nur in einer dünnen Schicht vorhanden, so kann die ihm eigentümliche Farbe, wie aus dem Vorhergehenden einleuchtet, nur schwach hervortreten. So zeigt z. B. das gewöhnliche Fensterglas auf der Bruchfläche eine lebhafte grüne Farbe, während es in dem durch die dünne Scheibe senkrecht hindurchgehenden Lichte (fast) farblos erscheint. — Wasser zeigt in einer Schicht von mehreren Metern eine bläuliche Färbung.

Die Farben, welche uns die Körper zeigen, sind gewöhnlich mehr oder weniger zusammengesetzt, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Körper durch ein Prisma betrachtet.

Wenn ein weißer Körper von farbigem einfachen oder zusammengesetzten Lichte erleuchtet wird, so zeigt er sich mit der nämlichen Farbe, da er die verschiedenfarbigen Strahlen in demselben Verhältnisse, in welchem sie aufgefallen sind, wieder zurückwirft. So erscheinen z. B. die Wolken und andere weiße Körper rot, wenn sie von der Morgen- oder Abendröte erhellt werden. — Wenn dagegen auf einen farbigen Körper nur Strahlengattungen fallen, welche in dem Innern desselben (fast) vollständig absorbiert werden, so muß er schwarz erscheinen, was z. B. bei dem durch seine hochrote Farbe ausgezeichneten Zinnober der Fall ist, wenn derselbe nur von violettem Lichte erleuchtet wird. — Unsere Gas-, Öl- und Kerzenflammen strahlen nur wenig blaues und noch weniger violettes Licht aus; da nun die blau gefärbten Körper gewöhnlich auch die grünen Strahlen ziemlich reichlich reflektieren, so läßt sich die Farbe derselben bei der Beleuchtung durch diese Flammen oft nur schwer von Grün unterscheiden.

Ebenso deutlich, wie im gewöhnlichen Tageslichte läßt sich die Farbe von blau und violett gefärbten Körpern erkennen, wenn man dieselben durch elektrisches Licht oder durch das Licht des glühenden Kalkes oder des brennenden Magnesiums beleuchtet, da diese Lichtquellen besonders reich an den stärker brechbaren Strahlen des Spektrums sind.

Überraschende Farbenwechsel zeigen sich, wenn man den Docht einer Spirituslampe mit Kochsalz (Chlornatrium) einreibt und bei dem fast rein gelben Lichte (Natriumlicht) derselben in einem durch *kein anderes* Licht erhellten Zimmer bunte Zeuge, Papiere, Blumen u. dgl. betrachtet.

Ebenso geben, wenn man aus dem prismatischen Farbenbilde nicht bloß eine, ern mehrere Farben ausschließt, die übrigen bei ihrer Vereinigung immer wieder bestimmte Farbe.

Aus dem Angeführten folgt, daß die Empfindung einer bestimmten Farbe auf erlei Weise im Auge entstehen kann, entweder durch die Einwirkung einer einzigen mmten Strahlengattung oder durch das Zusammenwirken mehrerer verschieden= iger Strahlen. Man unterscheidet hiernach einfache und gemischte Farben, he im Auge nahezu die nämliche Empfindung hervorbringen, sich aber ganz t durch ein Prisma von einander unterscheiden lassen, indem eine einfache Farbe, h das Prisma gesehen, unverändert bleibt, eine zusammengesetzte aber in die benstrahlen zerlegt wird, aus denen sie besteht.

Die Farbenempfindungen, welche man durch die Vereinigung zweier Farben des prismatischen enbildes erhält, weichen wesentlich von den Farben ab, welche durch die Vermischung der betreffenden stoffe entstehen. So geben z. B. ganz abweichend von dem Verhalten gelber und blauer Farbstoffe, e bei ihrer Vermischung Grün liefern, das prismatische Gelb und Blau zusammen Weiß. Diese hiedenheit erklärt sich daraus, daß gelbe Farbstoffe nicht bloß gelbe, sondern noch mehr oder ger andere, insbesondere grüne, und ebenso blaue Farbstoffe außer den blauen auch grüne Strahlen tieren. Es muß daher die Vermischung dieser Farbstoffe vorzugsweise die Empfindung der n Farbe hervorrufen, da die gelben und blauen Strahlen sich zu Weiß ergänzen.

Nach Helmholtz läßt sich Weiß auch durch die Vereinigung der drei prismatischen Farben: Rot, i und Violett, ferner durch die zwei Farben: Indigo und Gelb, und durch verschiedene andere binationen erzeugen.

§. 204. **Natürliche Farben der Körper.** Die Farbe, mit welcher sich uns nicht selbstleuchtenden Körper zeigen, hängt teils von der Beschaffenheit dieser per selbst, teils von der Beschaffenheit des von andern Körpern auf dieselben allenden Lichtes ab. Wie wir schon oben (§. 193) gesehen haben, wird dieses teils von der Oberfläche der Körper, auf welche es fällt, zurückgeworfen, teils gt es bis zu einer gewissen Tiefe unter die Oberfläche ein. Das von der Ober= e zurückgeworfene Licht erzeugt bei glatten Flächen teils den Glanz, welchen uns lben zeigen, teils Spiegelbilder der Gegenstände, von denen das auffallende Licht ımmt. Ein Teil der in das Innere eintretenden Strahlen wird hier absorbiert; übrigen Strahlen werden teils von den Molekülen des Körpers zurückgeworfen, bringen sie bei durchsichtigen Körpern, wenn die Dicke derselben nicht zu ichtlich ist, bis an die hintere Fläche vor und werden hier teils durchgelassen, nach innen reflektiert.

Wenn von den ins Innere eingetretenen verschiedenfarbigen Strahlen, welche weiße Sonnen= oder Tageslicht zusammensetzen, nur ein geringer Teil und nach n gleichen Verhältnis absorbiert wird, so muß auch bei den verschiedenfarbigen ıhlen, welche das austretende Licht zusammensetzen, das nämliche Verhältnis wie weißen Lichte stattfinden und der Körper folglich, wenn er undurchsichtig ist, uns ß, und wenn er durchsichtig ist, uns farblos oder, wie man sagt, wasserhell einen. Wenn umgekehrt die ins Innere eingetretenen Strahlen (fast) sämtlich rbiert werden, so nennen wir den Körper schwarz. Wiewohl nun hiernach schwarzer Körper keine aus dem Inneren reflektierten Strahlen in unser Auge

sendet, so kann derselbe doch vermöge der von der Oberfläche reflektierten Strahlen beträchtlichen Glanz zeigen, wie dies z. B. bei schwarzer Wachsleinwand der Fall zu sein pflegt.

Die verschiedenen Abstufungen des **Grau** bilden die Übergänge von Weiß und Schwarz.

Wenn ein Körper von dem ins Innere eingetretenen weißen Sonnen- oder Tageslichte die Strahlen einer gewissen Farbe, z. B. der roten nur schwach, die Strahlen der übrigen Farben, insbesondere der komplementären grünen, erheblich stärker absorbiert, so müssen sowohl in dem an der Vorderfläche als auch, wenn der Körper durchsichtig ist, in dem an der Hinterfläche austretenden Lichte die roten Strahlen überwiegen, und der Körper muß uns daher sowohl im reflektierten als auch im durchgelassenen Lichte **rot** erscheinen. Es erklärt sich hieraus, warum die durchsichtigen Körper (bis auf wenige Ausnahmen, z. B. dünnes Goldblatt, §. 186) uns im durchgelassenen Lichte die nämliche Farbe wie im zurückgeworfenen zeigen.

Ist ein durchsichtiger Körper nur in einer dünnen Schicht vorhanden, so kann die ihm eigentümliche Farbe, wie aus dem Vorhergehenden einleuchtet, nur schwach hervortreten. So zeigt z. B. das gewöhnliche Fensterglas auf der Bruchfläche eine lebhafte grüne Farbe, während es in dem durch die dünne Scheibe senkrecht hindurchgehenden Lichte (fast) farblos erscheint. — Wasser zeigt in einer Schicht von mehreren Metern eine bläuliche Färbung.

Die Farben, welche uns die Körper zeigen, sind gewöhnlich mehr oder weniger zusammengesetzt, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Körper durch ein Prisma betrachtet.

Wenn ein weißer Körper von farbigem einfachen oder zusammengesetzten Lichte erleuchtet wird, so zeigt er sich mit der nämlichen Farbe, da er die verschiedenfarbigen Strahlen in demselben Verhältnisse, in welchem sie aufgefallen sind, wieder zurückwirft. So erscheinen z. B. die Wolken und andere weiße Körper rot, wenn sie von der Morgen- oder Abendröte erhellt werden. — Wenn dagegen auf einen farbigen Körper nur Strahlengattungen fallen, welche in dem Innern desselben (fast) vollständig absorbiert werden, so muß er schwarz erscheinen, was z. B. bei dem durch seine hochrote Farbe ausgezeichneten Zinnober der Fall ist, wenn derselbe nur von violettem Lichte erleuchtet wird. — Unsere Gas-, Öl- und Kerzenflammen strahlen nur wenig blaues und noch weniger violettes Licht aus; da nun die blau gefärbten Körper gewöhnlich auch die grünen Strahlen ziemlich reichlich reflektieren, so läßt sich die Farbe derselben bei der Beleuchtung durch diese Flammen oft nur schwer von Grün unterscheiden.

Ebenso deutlich, wie im gewöhnlichen Tageslichte läßt sich die Farbe von blau und violett gefärbten Körpern erkennen, wenn man dieselben durch elektrisches Licht oder durch das Licht des glühenden Kalkes oder des brennenden Magnesiums beleuchtet, da diese Lichtquellen besonders reich an den stärker brechbaren Strahlen des Spektrums sind.

Überraschende Farbenwechsel zeig[illegible] man den Docht einer Spirituslampe mit Kochsalz [illegible] einreibt und bei [illegible] (Natriumlicht) derselben in einem durch [illegible] lumen u. dgl. betrachtet.

In betreff des in durchsichtige Körper eintretenden Lichtes führen wir noch die folgende merk-
würdige Erscheinung an, welche nach dem Flußspat (Fluorcalcium) mit dem Namen Fluorescenz
ezeichnet wird. Manche Stücke dieses Minerals, welche im durchgelassenen Tageslichte fast
rblos erscheinen, zeigen, wenn sie von auffallendem Tageslichte oder noch besser von direktem
Sonnenlichte beleuchtet werden, an der Oberfläche eine bläuliche Färbung. Gleiches kann man am
etroleum beobachten. Sehr auffallend zeigt sich die Fluorescenz bei einer Lösung von schwefelsaurem
hinin in Wasser, welchem einige Tropfen Schwefelsäure zugesetzt sind. Diese im durchgehenden
ageslichte vollkommen wasserhelle Lösung glänzt bei auffallendem Lichte an der Oberfläche in einer
br schönen blauen Farbe. — Ähnliche Erscheinungen bieten noch viele andere durchsichtige Körper
r. Wir heben insbesondere noch hervor das durch Uran gelblich grün gefärbte Glas, welches in
in grüner Farbe fluoresciert; ferner eine Auflösung von Blattgrün in Äther, welche im auffallenden
ichte blutrot erscheint.

Besonders deutlich tritt die Fluorescenz hervor, wenn man vermittelst einer Sammellinse
nzentriertes Sonnenlicht in den fluorescierenden Körper eindringen läßt. Der eintretende Lichtkegel
uchtet dabei im Fluorescenzlichte und zwar etwas unterhalb der Oberfläche am stärksten; nach dem
nnern zu nimmt das Leuchten rasch ab und verschwindet in einiger Entfernung von der Ober-
äche gänzlich.

Das Vorstehende deutet darauf hin, daß die Fluorescenz eine Folge derjenigen Strahlen ist,
elche beim Eindringen in den Körper absorbiert werden. — Dies zeigt sich am klarsten, wenn
an Lichtstrahlen von verschiedener Farbe anwendet. Entwirft man z. B. ein Sonnenspektrum auf
ner Uranglasplatte, so gehen die roten, gelben und grünen Strahlen durch die Platte ungeschwächt
indurch und bewirken dabei gar keine Fluorescenz. Andererseits verschwinden die blauen und
ioletten Strahlen beim Eindringen in das Glas gänzlich, aber die Platte erglänzt an denjenigen
tellen, wo sie von diesen Strahlen getroffen wird, in lebhaft grünem Lichte. Dieses Fluorescenzlicht
streckt sich ferner noch bedeutend über das violette Ende des Spektrums hinaus. Es zeigen mithin
ch die dunklen Strahlen, welche jenseits der violetten liegen, die Eigenschaft, Fluorescenz zu
regen. — Wie bei diesem Versuche, so wird in den meisten Fällen die Fluorescenz durch die stärker
echbaren Strahlen hervorgerufen. Deswegen tritt die Erscheinung auch besonders schön im elektrischen
chte auf, da dasselbe reich an solchen Strahlen ist.

Nach der Vibrationshypothese findet die Fluorescenz, wie wir hier nur kurz andeuten können,
e Erklärung in der Annahme, daß die Moleküle eines fluorescierenden Körpers, indem sie von den
rch den Äther sich fortpflanzenden Lichtwellen getroffen werden, selbst in Licht erzeugende Schwingungen
aten in ähnlicher Art, wie mittönende Körper durch die in der Luft fortschreitenden Schallwellen
Schwingungen versetzt werden (§. 181).

Ebenso erklärt sich auch die durch Bestrahlung hervorgerufene Phosphorescenz, eine der
uorescenz sehr nah verwandte Erscheinung, welche wir schon in der Anmerkung zu §. 186 kennen
ernt haben. Dieselbe wird gleichfalls vorzüglich durch die stärker brechbaren Strahlen bewirkt. Der
terschied beider Erscheinungen liegt hauptsächlich darin, daß die Fluorescenz sich nur während
Bestrahlung durch fremdes Licht zeigt, die Phosphorescenz dagegen nach der Bestrahlung eine
it lang fortdauert.

Hervorheben wollen wir schließlich noch, daß die Fluorescenz ein Mittel darbietet, die ultra-
ioletten Strahlen sichtbar zu machen, indem man etwa das Spektrum, wie bei dem oben angegebenen
rsuche, auf einer Uranglasplatte entwirft. — Bei Anwendung von Sonnenlicht zeigt sich auch in
n ultravioletten Teile des Spektrums eine große Zahl Fraunhoferscher Linien.

§. 205, a. Die Bläue des Himmels, das Morgen- und Abendrot.

ie blaue Farbe des Himmels läßt uns schließen, daß die Luftteilchen von den
rschiedenen farbigen Strahlen, welche das weiße Sonnenlicht zusammensetzen, die
auen in stärkerem Verhältnisse als die übrigen Strahlen reflektieren. Der Himmel

Daß aber, wenn von einem Regentropfen r (Fig. 272) die wirksamen Strahlen irgend einer Farbengattung ins Auge gelangen, dasselbe auch von allen andern Regentropfen gelten muß, welche auf einem Kreisbogen liegen, dessen Mittelpunkt in

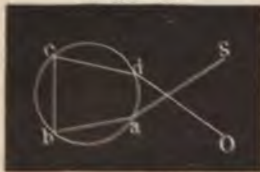
(Fig. 272.)



in die Verlängerung einer durch die Sonne und das Auge des Beobachters gehenden Linie fällt, geht leicht daraus hervor, daß diese Tropfen eine ganz gleiche Lage gegen die Sonne und den Beobachter haben.

So wie der **Hauptbogen** durch solche Sonnenstrahlen erzeugt wird, welche in dem Regentropfen eine zweimalige Brechung und einmalige Zurückwerfung erfahren haben, so wird der **Nebenbogen** in ganz ähnlicher Art durch solche Strahlen hervorgebracht, welche ebenfalls eine zweimalige Brechung, aber auch eine zweimalige Reflexion an der inneren Seite des Regentropfens erlitten haben. In Fig. 273 zeigt as die Richtung des einfallenden, do die Richtung des austretenden Strahles und die gebrochene Linie abcd den Weg des Lichtes im Innern des Regentropfens an.

(Fig. 273.)



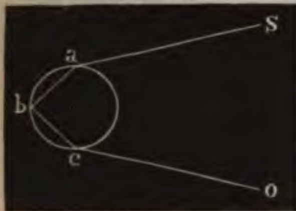
Ebensolche farbige Bogen, wie in den Regentropfen, ja selbst vollständige Kreise beobachtet man in den Tropfen, welche Wasserfälle, Mühlräder u. dgl. umherspritzen. — Auf gleichem Grunde beruhen auch die Farbenerscheinungen, welche die Tautropfen uns zeigen.

Wenn wir in Fig. 274, welche der im Haupttexte behandelten Fig. 271 entspricht, die Richtungen des einfallenden Strahles AS und des austretenden Strahles CO verlängern, bis sie sich im Punkte E schneiden, ferner die Punkte A, B und C mit dem Mittelpunkte D verbinden, so ist nach dem Reflexionsgesetze Winkel ABD = CBD, folglich auch Winkel BAD = BCD und Winkel EAD = ECD; es muß daher auch die verlängerte BD durch den Punkt E gehen. Setzen wir der Kürze wegen Winkel BAD = BCD = α und W. EAD = ECD = β, so ist W. EAB = ECB = $\beta - \alpha$ und W. AEB =

Neben dem **Hauptbogen** sieht man häufig an der äußeren Seite desselben inen, jedoch bei weitem schwächeren, **Nebenbogen**, dessen Farben gerade die mgekehrte Folge wie im Hauptbogen haben.

Der Regenbogen zeigt sich allemal der Sonne gegenüber; es können daher die on der Sonne ausgehenden Strahlen, welche die Erscheinung desselben bewirken, on den Regentropfen nur nach einer Reflexion in unser Auge gelangen. Weil aber ie bloße Reflexion nicht mit einer Farbenzerstreuung verbunden ist, sondern diese nfolge einer Brechung des Lichtes eintritt, so können nur solche Strahlen, welche n die Tropfen selbst eingetreten sind, den Regenbogen hervorbringen. Hieraus rgiebt sich für die den **Hauptbogen** erzeugenden Strahlen folgender Weg:

(Fig. 271.)



Es sei abc (Fig. 271) der in vergrößertem Maßstabe gezeichnete Durchschnitt eines Regentropfens, sa ein Sonnenstrahl, welcher die Oberfläche des Tropfens in a trifft und hier (zum Einfallslote) in der Richtung ab gebrochen wird. An der hinteren Fläche in b wird derselbe zum Teil hindurchgelassen, zum Teil in der Richtung bc zurückgeworfen; in c, wo er aus dem Regentropfen austritt, erleidet er ine zweite Brechung (und zwar vom Einfallslote) in der Richtung co und gelangt , nachdem er eine zweimalige Brechung und einmalige Zurückwerfung erfahren hat, n ein Auge, welches wir in o annehmen wollen.

Die in paralleler Richtung auf den Regentropfen auffallenden, aber an verchiedenen Punkten seiner Oberfläche in denselben eintretenden Strahlen treten im llgemeinen nicht in parallelen, sondern in stark divergierenden Richtungen aus emselben aus. Befindet sich nun das Auge in der Richtung dieser divergierenden Strahlen, so werden nur sehr wenige derselben durch die Pupille ins Auge gelangen nd daher keine wahrnehmbare Empfindung hervorbringen. Da aber der Regenropfen sich dem Auge in lebhaftem Farbenglanze zeigt, so kann dies nur auf die Art ewirkt werden, daß ein Teil der in dem Regentropfen gebrochenen und reflektierten Strahlen nicht erheblich divergierend, sondern nahezu parallel aus demselben austritt nd sich das Auge in der Richtung des Büschels dieser parallelen Strahlen befindet, elchen wir, eben weil durch sie eine lebhafte Empfindung hervorgebracht wird, den amen der **wirksamen Strahlen** beilegen wollen.

Da die das weiße Licht zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen eine ngleiche Brechbarkeit besitzen, so treten auch bei dem nämlichen Regentropfen die irksamen Strahlen verschiedener Farbengattungen nach verschiedenen Richtungen aus. s können daher von dem nämlichen Regentropfen in das Auge des Beobachters icht zugleich wirksame Strahlen von verschiedener, sondern nur von einer einzigen arbengattung gelangen. Gilt dies z. B. von den wirksamen roten Strahlen, so ann das nämliche nicht auch in Hinsicht der wirksamen Strahlen der übrigen arbengattungen der Fall sein, und der Regentropfen muß sich folglich dem Auge in tem Lichte zeigen.

Daß aber, wenn von einem Regentropfen r (Fig. 272) die wirksamen Strahlen irgend einer Farbengattung ins Auge gelangen, dasselbe auch von allen andern Regentropfen gelten muß, welche auf einem Kreisbogen liegen, dessen Mittelpunkt m

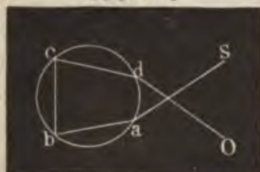
(Fig. 272.)



in die Verlängerung einer durch die Sonne und das Auge des Beobachters gehenden Linie fällt, geht leicht daraus hervor, daß diese Tropfen eine ganz gleiche Lage gegen die Sonne und den Beobachter haben.

So wie der **Hauptbogen** durch solche Sonnenstrahlen erzeugt wird, welche in dem Regentropfen eine zweimalige Brechung und einmalige Zurückwerfung erfahren haben, so wird der **Nebenbogen** in ganz ähnlicher Art durch solche Strahlen hervorgebracht, welche ebenfalls eine zweimalige Brechung, aber auch eine zweimalige Reflexion an der inneren Seite des Regentropfens erlitten haben. In Fig. 273 zeigt as die Richtung des einfallenden, do die Richtung des austretenden Strahles und die gebrochene Linie abcd den Weg des Lichtes im Innern des Regentropfens an.

(Fig. 273.)

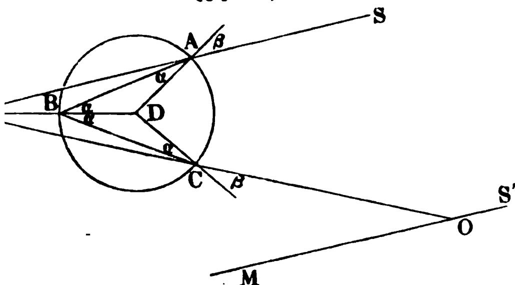


Ebensolche farbige Bogen, wie in den Regentropfen, ja selbst vollständige Kreise beobachtet man in den Tropfen, welche Wasserfälle, Mühlräder u. dgl. umherspritzen. — Auf gleichem Grunde beruhen auch die Farbenerscheinungen, welche die Tautropfen uns zeigen.

Wenn wir in Fig. 274, welche der im Haupttexte behandelten Fig. 271 entspricht, die Richtungen des einfallenden Strahles AS und des austretenden Strahles CO verlängern, bis sie sich im Punkte E schneiden, ferner die Punkte A, B und C mit dem Mittelpunkte D verbinden, so ist nach dem Reflexionsgesetze Winkel ABD = CBD, folglich auch Winkel BAD = BCD und Winkel EAD = ECD; es muß daher auch die verlängert[illegible] Punkt E gehen. Setzen wir der Kürze wegen Winkel BAD = BCD = α und W. [illegible] ist W. EAB = ECB = $\beta - \alpha$ und W. AEB =

· EAB $= \alpha - (\beta - \alpha) = 2\alpha - \beta$, also der Winkel, welchen die Richtung des einfallenden s AS und die Richtung des austretenden Strahles CO miteinander bilden,

(Fig. 274.)



$$1)\quad E = 4\alpha - 2\beta.$$

Denken wir uns ferner einen Strahl SA', welcher in paralleler Richtung mit SA, aber nicht in dem Punkte A, sondern in einem benachbarten Punkte A' die Oberfläche des Regentropfens treffen möge, und geben wir für denselben den Buchstaben α', β', E' die nämliche Bedeutung, welche wir den Buchstaben α, β, E für den Strahl SA beigelegt haben, so ist aus gleichen Gründen, wie wir eben ;elt haben,

$$E' = 4\alpha' - 2\beta'.$$

un der dem einfallenden Strahle SA' zugehörige austretende Strahl, welchen wir C'O' nennen wollen,) parallel sein, so muß offenbar, da wir SA || SA' angenommen haben, Winkel E' = E, also

$$4\alpha' - 2\beta' = 4\alpha - 2\beta$$

$$2)\quad 2\alpha' - \beta' = 2\alpha - \beta$$

- Zufolge des Brechungsgesetzes ist, wenn wir den Brechungsexponenten mit n bezeichnen,

$$3)\quad \sin\beta = n \sin\alpha$$

$$4)\quad \sin\beta' = n \sin\alpha'.$$

wir die Differenz $\alpha' - \alpha = u$ und $\beta' - \beta = v$, also $\alpha' = \alpha + u$ und $\beta' = \beta + v$, so delt sich zunächst die Gleichung (2) in

$$5)\quad 2u - v = 0,$$

: Gleichung (4) geht über in

$$\sin(\beta + v) = n \sin(\alpha + u),$$

nn wir entwickeln,

$$6)\quad \sin\beta \cos v + \cos\beta \sin v = n \sin\alpha \cos u + n \cos\alpha \sin u.$$

: den Punkt A' als dem Punkte A nahe benachbart angenommen haben, so ist β' von β und auch α' von α nur wenig verschieden. Da hiernach u und v sehr kleine Winkel bezeichnen, en wir ohne erheblichen Fehler cos u und cos v = 1 setzen können, wodurch die Gleichung (6) t in $\sin\beta + \cos\beta \sin v = n \sin\alpha + n \cos\alpha \sin u$,

sin $\beta = n \sin\alpha$ ist, $\cos\beta \sin v = n \cos\alpha \sin u$,

$$7)\quad \frac{\sin v}{\sin u} = \frac{n \cos\alpha}{\cos\beta}.$$

ch §. 16 der Trigonom.) das Verhältnis der Sinus sehr kleiner Winkel von dem Verhältnis ikel nur um ein sehr Geringes verschieden ist, so werden wir hierfür auch setzen können

$$8)\quad \frac{v}{u} = \frac{n \cos\alpha}{\cos\beta}.$$

so, wie es die Gleichung (5) vorschreibt, 2u = v sein, so muß

$$(9)\quad 2 \cos\beta = n \cos\alpha$$

Quadrieren wir diese Gleichung, so verwandelt sich dieselbe in

$$4 \cos\beta^2 = n^2 \cos\alpha^2,$$

$$4 - 4 \sin\beta^2 = n^2 - n^2 \sin\alpha^2,$$

$$n \sin\alpha = \sin\beta$$

$$4 - 4 \sin\beta^2 = n^2 - \sin\beta^2,$$

sich

$$10)\quad \sin\beta = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

Hat der Winkel EAD $= \beta$ den durch diese Gleichung bestimmten Wert, so tritt ein parallel und nahe bei A auf den Regentropfen auffallender Strahl A'S an der untern Seite bei C : dem austretenden Strahle CO fast parallelen Richtung aus.

21*

Haben wir aus der Gleichung (10) den betreffenden Wert von β gefunden, so erhalten wir den zugehörigen Wert von α durch die Gleichung

$$11)\quad \sin\alpha = \frac{\sin\beta}{n}$$

und den Wert des Winkels E durch die Gleichung

$$12)\quad E = 4\alpha - 2\beta.$$

Denken wir uns durch das Auge O des Beobachters eine mit AS parallele Linie S'O gezogen, welche über O nach M hin verlängert, wie schon oben bemerkt, durch den Mittelpunkt des Regenbogens geht, so ist Winkel SEO = EOM. Die Gleichung (12) giebt uns hiernach die Größe des Winkels an, welchen die wirksamen Strahlen mit einer durch das Auge des Beobachters nach der Sonne gezogenen Linie bilden.

Nun ist der Brechungsexponent n bei dem Übergange des Lichtes aus Luft in Wasser für die roten Strahlen ungefähr gleich $\frac{108}{81}$, für die violetten gleich $\frac{109}{81}$. Führen wir diesen Werten gemäß die Rechnung nach den Gleichungen (10), (11) und (12) aus, so erhalten wir

für die roten Strahlen	für die violetten Strahlen
$\beta = 59^\circ\, 23'$	$\beta = 58^\circ\, 40'$
$\alpha = 40^\circ\, 12'$	$\alpha = 39^\circ\, 24'$
$E = 42^\circ\, 2'$	$E = 40^\circ\, 16'$.

Es ergiebt sich hieraus die Breite des Regenbogens $= 42^\circ\, 2' - 40^\circ\, 16' = 1^\circ\, 46'$. Weil uns aber die Sonne nicht als ein Punkt, sondern unter dem beträchtlichen Durchmesser von 31' erscheint, so werden wir diese Zahl noch um 31' zu vergrößern, also die Breite des Regenbogens $= 2^\circ\, 17'$ anzunehmen haben.

Die Bestimmungen für den Nebenregenbogen erhalten wir durch eine der vorhergehenden ganz ähnliche Überlegung. In dem Fünfeck ABCDE (Fig. 275) ist die Summe aller Winkel

$$A + B + C + D + E = 540^\circ.$$

Nun ist aber Winkel $A = D = 180^\circ - \beta + \alpha$ und Winkel $B = C = 2\alpha$. Setzen wir diese Werte in die obige Gleichung ein, so erhalten wir

$$360^\circ - 2\beta + 6\alpha + E = 540^\circ,$$

also

$$1)\quad E = 180^\circ + 2\beta - 6\alpha.$$

(Fig. 275.)

Geben wir für einen mit AS parallelen, nahe bei A die Oberfläche des Regenbogens treffenden Strahl A'S den Buchstaben α', β', E' analoge Bedeutungen, wie wir den Buchstaben α, β, E für den Strahl AS beigelegt haben, so werden wir ferner

$$E' = 180^\circ - 2\beta' - 6\alpha'$$

zu setzen haben. Subtrahieren wir von dieser Gleichung die vorhergehende und setzen $\alpha' - \alpha = u$ [illegible] so erhalten wir weiter

$$2)\quad E' - E = [illegible] - 6u,$$

[illegible] dem [illegible] Strahle AS entsprechende austretende Strahl dem Strahle DO [illegible]

[illegible]

[illegible] den aus dem Brechungsgesetze hervorgehenden Gleichungen

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible] ist, so ergiebt sich

[illegible]

rbinden wir hiermit die Gleichungen

$$9)\quad \sin\alpha = \frac{\sin\beta}{n}$$

ıd

$$10)\quad E = 180^\circ + 2\beta - 6\alpha,$$

erhalten wir

für die roten Strahlen	für die violetten Strahlen
$\beta = 71^\circ\,52'$	$\beta = 71^\circ\,39'$
$E = 50^\circ\,58'$	$E = 54^\circ\,10'.$

ie Breite des Nebenregenbogens ist folglich

$$= (54^\circ\,10') - (50^\circ\,58') + 31' = 3^\circ\,43'.$$

Die beiden Regenbogen sind voneinander durch einen dunklen Zwischenraum getrennt, welcher ich von dem Rot des äußern bis zum Rot des inneren Bogens erstreckt, und dessen Breite folglich $0^\circ 58' - 42^\circ 2' = 8^\circ 56'$ beträgt.

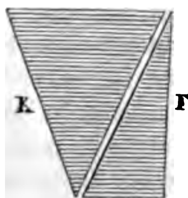
An der inneren Seite des Hauptregenbogens bemerkt man noch eine Reihe grüner und purpurter Streifen, welche auf Interferenz (§. 209) beruhen, worauf wir jedoch nicht näher eingehen können.

§. 206. Vom Achromatismus. Wir haben oben gesehen, daß mit jeder rechung auch zugleich eine Farbenzerstreuung, Dispersion, des Lichtes verbunden t. Wir unterscheiden bei einer durchsichtigen Substanz das Brechungs- und das erstreuungsvermögen. Wenn wir in der optischen Kammer die durch eine eine Öffnung einfallenden Sonnenstrahlen durch ein Prisma hindurchgehen lassen, hängt der Winkel, um welchen das Sonnenbild von seiner früheren Stelle fortrückt wird, von dem Brechungsvermögen, die Ausdehnung aber, welche dasselbe erbei in der Länge erfährt, von dem Zerstreuungsvermögen des Prismas ab. as Brechungsvermögen wird durch den Brechungsexponenten der Strahlen mittlerer rechbarkeit, das Zerstreuungsvermögen durch den Unterschied zwischen den Brechungsponenten der violetten und der roten Strahlen bestimmt.

Vergleicht man verschiedene durchsichtige Substanzen miteinander, so findet man ı ungleiches Verhältnis zwischen dem Brechungs- und dem Zerstreuungsvermögen.) bricht z. B. das Flintglas, bleihaltige Glas, das Licht nur wenig stärker als s gewöhnliche böhmische oder sogenannte Kronglas, während es die Farben in eutend größerem Verhältnisse zerstreut als dieses.

Hierdurch wird es möglich, ein Prisma herzustellen, welches das Licht bricht, ıe es zu zerstreuen. Um dieses einzusehen, seien K und F (Fig. 276) die Durchıitte zweier aus verschiedenen Substanzen verfertigten Prismen, welche wir uns so aneinander gelegt denken, daß die brechenden Winkel derselben eine entgegengesetzte Lage haben. Ein durch beide Prismen hindurchgehender Lichtstrahl erleidet daher in denselben entgegengesetzte Brechungen und entgegengesetzte Farbenzerstreuungen. Wenn nun die Substanz, aus welcher F besteht, das Licht in bedeutend stärkerem Verhältnisse zerstreut als die Substanz, aus welcher K besteht, so muß offenbar der brechende Winkel von K beträchtlich größer als der von F , wenn die Farbenzerstreuung, welche ein Lichtstrahl in F erleidet, durch die in K gehoben werden soll. Wenn aber die Substanz, aus welcher F besteht, das Licht so stark (oder nur wenig stärker) bricht als K, so wird unter den angeführten

(Fig. 276.)



Bedingungen die Brechung, welche ein Lichtstrahl in K erfährt, die entgegengesetzte in F übertreffen. Ein durch beide Prismen hindurchgehender Lichtstrahl wird daher eine Ablenkung, aber keine Farbenzerstreuung erleiden.

Ein solches Prisma, welches das Licht bricht, ohne die farbigen Strahlen zu zerstreuen, wird ein **achromatisches** genannt. Die große Wichtigkeit des Achromatismus für optische Instrumente, insbesondere für Fernröhre, werden wir weiter unten kennen lernen.

Wiewohl für verschiedene, das Licht brechende Substanzen die Aufeinanderfolge der einzelnen Farben und der Fraunhofer'schen Linien im Spektrum immer die nämliche ist, so stehen doch die von den einzelnen Farben eingenommenen und durch die dunklen Linien voneinander getrennten Räume für verschiedene Substanzen in einem sehr ungleichen Verhältnisse. Das Verhältnis, nach welchem zwei Substanzen die roten und violetten Strahlen zerstreuen, ist nicht das nämliche, nach welchem sie die roten und gelben, die grünen und blauen Strahlen u. s. w. zerstreuen. Verbindet man daher zwei Prismen aus verschiedenen Substanzen so miteinander, daß die Zerstreuung der roten und violetten Strahlen in dem einen durch die in dem andern aufgehoben wird, so findet diese Aufhebung noch nicht unbedingt auch für die übrigen farbigen Strahlen statt; dies würde nur dann der Fall sein, wenn diese beiden Substanzen sämtliche Strahlengattungen nach gleichen Verhältnissen zerstreuten, was kaum für irgend zwei Substanzen der Fall ist. Es ist daher auch nicht möglich, ein vollkommen achromatisches Prisma herzustellen; man beschränkt sich vielmehr darauf, die Farbenzerstreuung der äußersten Strahlen, der roten und violetten, aufzuheben. — Auch der Winkel, unter welchem das Licht auf ein Prisma auffällt, ist nicht ohne Einfluß auf den Achromatismus desselben. Ein Prisma, welches für einen gewissen Einfallswinkel die Farbenzerstreuung sehr gut aufhebt, thut dies nicht in gleichem Maße für jeden anderen Einfallswinkel.

Achromatische Prismen sind zuerst (1757) von dem Engländer **Dollond** hergestellt worden.

§. 207, a. Von der Emission des Lichtes. Wir haben uns in den nächstvorhergehenden Paragraphen fast ausschließlich mit dem Sonnenlichte beschäftigt, welches uns vorzugsweise die uns umgebende Körperwelt sichtbar macht. Von den der Erde angehörenden Körpern strahlen einige wenige, welche man phosphorescierende nennt, wie oben (§. 186) angegeben, schon bei der gewöhnlichen Lufttemperatur ein schwaches Licht aus. Die andern Körper bedürfen, um leuchtend zu werden, eines hohen Hitzegrades. Das Glühen beginnt für die verschiedenartigsten Körper bei der nämlichen Temperatur (ungefähr 500° C.) und zwar mit rotem Lichte, welchem sich bei zunehmender Temperatur und zwar für alle Körper bei dem nämlichen Hitzegrade nach und nach die stärker brechbaren Strahlen bis zu denen des violetten Lichtes (und darüber hinaus) zugesellen, wobei das rote Glühen in weißes übergeht.

Den Spektren der glühenden festen oder flüssigen Körper fehlen, wie schon oben (§. 202, b) angegeben, die dunklen Fraunhoferschen Linien, weshalb man diese Spektren **kontinuierliche** nennt; dasselbe gilt von den Spektren der Gas-, Öl- und Kerzenflammen, deren Licht von glühenden Kohlenteilchen ausgestrahlt wird, (s. oben §. 95). Die kontinuierlichen Spektren der verschiedensten Substanzen enthalten alle die nämlichen Farben und unterscheiden sich nur in der ungleichen Ausdehnung, welche die verschiedenen Farben, Rot oder Gelb oder Violett, in denselben einnehmen. — Die Spektren derjenigen Himmelskörper, welche ihr Licht von der Sonne erhalten, die Spektren des Mondes und der Planeten, zeigen die nämlichen dunklen Linien, wie das Spektrum der Sonne. ~~ektren der Fixsterne kommen zwar

ebenfalls dunkle Linien vor; dieselben stimmen jedoch weder mit denen der Sonne noch unter sich vollständig überein.

Ganz abweichend von den Spektren der glühenden festen und flüssigen Körper verhalten sich die Spektren der glühenden Gase oder Dämpfe; dieselben bestehen aus einer mehr oder minder großen Zahl hellleuchtender farbiger, durch dunkle Zwischenräume getrennter **Linien**, seltener nur aus einer einzigen, z. B. beim Natrium aus einer orangegelben Linie (eigentlich aus zwei einander sehr nahestehenden, mit der Fraunhoferschen Doppellinie D zusammenfallenden orangegelben Linien).

Diese Linien sind für die betreffenden Stoffe charakteristisch, da sie immer an der nämlichen Stelle des Spektrums erscheinen. Besonders ausgezeichnet treten dieselben bei den glühenden Metalldämpfen hervor; sie zeigen sich auch, wenn das Metall mit andern metallischen und nichtmetallischen Stoffen verbunden ist, ganz ebenso wie bei dem unvermischten Metalle.

Das Spektrum des glühenden Zinkdampfes besteht aus einer roten und drei blauen, das des Kupferdampfes aus drei grünen Linien. Das Spektrum der Dämpfe des Messings (einer Komposition von Kupfer und Zink) enthält sowohl das rote und die drei blauen Bänder des Zinks als auch die drei grünen des Kupfers.

Das Spektrum des Kochsalzes, welches aus Chlor und Natrium besteht, zeigt genau dieselbe glänzende, orangegelbe Linie wie das metallische Natrium selbst und außer dieser keine andere Farbenerscheinung. — Ganz Ähnliches gilt überhaupt von den Spektren der Verbindungen metallischer mit nicht metallischen Stoffen; dieselben zeigen allemal nur die den metallischen Stoffen eigentümlichen farbigen Linien, indem durch den helleren Glanz von diesen die schwächeren Linien der nichtmetallischen Stoffe für unsere Wahrnehmung verdunkelt werden.

Die angeführten Erscheinungen treten auch dann hervor, wenn ein Stoff in einer Substanz nur in äußerst geringer Menge vorhanden ist.

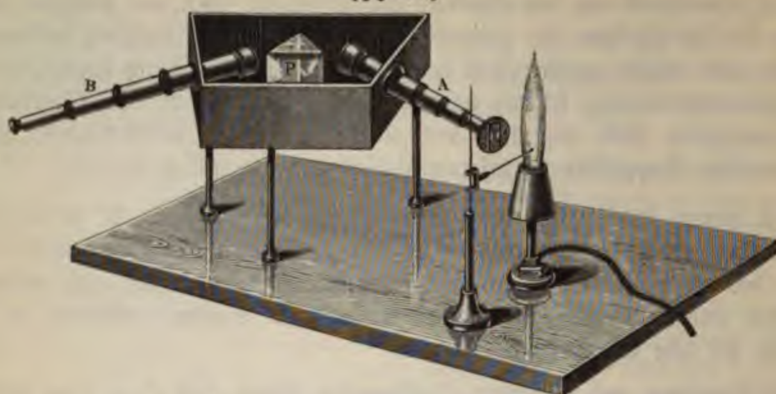
Auf das hier Vorgetragene gründet sich die von **Bunsen** und **Kirchhoff** (1859) erfundene **Spektralanalyse**, durch welche mehrere bis dahin unbekannte Metalle (Caesium, Rubidium, Thallium, Indium) aufgefunden, die wichtigsten Resultate aber für die Astronomie gewonnen worden sind. (Vergl. den folg. §. und die mathem. Geogr. §. 30 und 45.)

Zur Erzeugung der für spektroskopische Versuche erforderlichen Hitze reicht in vielen Fällen die Flamme einer Spirituslampe, in den meisten eine Gasflamme mit Bunsen'schem Brenner aus; für höhere Hitzegrade benutzt man die Knallgasflamme, den elektrischen Funken, etwa eines Rhumkorffschen Apparates, oder den galvanischen Flammenbogen zwischen Kohlenspitzen. Zur Untersuchung der Gase dienen die Geißlerschen Röhren (§. 161, Anm.), in denen die Gase im Zustande der äußersten Verdünnung durch den elektrischen Strom bis zum Glühen erhitzt werden.

Die Temperatur hat auf die Lage der farbigen Linien keinen Einfluß; sie vermehrt aber die Helligkeit und die Zahl derselben, indem bei höherer Temperatur neue farbige Linien, die bei niedrigerer Temperatur nicht wahrnehmbar sind, hinzutreten. Bei sehr hoher Temperatur und gesteigertem Drucke gehen im allgemeinen die diskontinuierlichen Spektren der Dämpfe und Gase allmählich in kontinuierliche über.

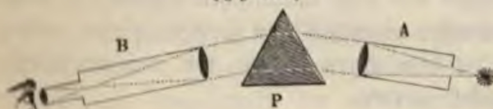
Fig. 277 stellt nach den Hauptteilen das **Spektroskop** dar, dessen sich **Bunsen** und **Kirchhoff** zuerst bei ihren Untersuchungen bedient haben. Dasselbe besteht aus einem trapezischen, an der

(Fig. 277.)



Innenseite zur Abhaltung fremden Lichtes geschwärzten Kasten, in dessen gegeneinander geneigten Wänden die auf das Prisma P gerichteten Rohre A und B befestigt sind. Das äußere Ende des Rohres A ist durch eine Metallplatte verschlossen, in welcher ein feiner Spalt angebracht ist, der vermittelst einer Schraube enger und weiter gestellt werden kann; an dem andern Ende des Rohres befindet sich eine Sammellinse, deren Brennpunkt in die vor dem Spalte befindliche, mit einem Bunsenschen Brenner versehene Gasflamme fällt, in welche die zu untersuchenden Gegenstände vermittelst eines feinen, an dem einen Ende in ein kleines Öhr umgebogenen Platindrahts eingeführt werden.

(Fig. 278.)



Das Rohr B ist ein Fernrohr, durch welches das Spektrum in mäßiger Vergrößerung gesehen wird. — Fig. 278 zeigt den Gang der von der Lichtquelle durch den schmalen Spalt in das Rohr A gelangenden Strahlen an, welche, durch die am Ende dieses Rohrs angebrachte Linse parallel gemacht, auf das Prisma P fallen und nach der Brechung durch dasselbe in das Fernrohr B eintreten, durch dessen Okular das Spektrum beobachtet wird.

Um die farbigen Linien des Spektrums irgend einer zu untersuchenden Substanz mit den dunklen Fraunhoferschen Linien des Spektrums des Sonnenlichtes oder den farbigen des Spektrums einer schon bekannten Substanz zu vergleichen, läßt man die Strahlen der einen Lichtquelle durch die obere Hälfte und die Strahlen der anderen Lichtquelle durch die untere Hälfte desselben Spaltes hindurchgehen und auf das nämliche Prisma fallen; man erblickt dann in dem Fernrohre die beiden in die Länge ausgedehnten Spektren unmittelbar übereinander.

§. 207, b. Beziehung zwischen Emission und Absorption des Lichtes.

[illegible] weiter unten (§. 252) noch genauer sehen werden, denken sich die Physiker [illegible] die kleinsten Teilchen der leuchtenden, sondern auch die nichtleuchtenden [illegible] schwingenden Bewegungen begriffen, welche im Äther Wellen erregen, die [illegible] die Lichtwellen in demselben ausbreiten, ebenso wie diese erwärmend [illegible] von den Lichtwellen durch ihre größere Länge und dadurch unter[illegible] unserem Auge nicht als Licht empfunden werden. Diese dunklen [illegible] so wie die Lichtstrahlen von den Körpern, auf welche sie [illegible] teils absorbiert, von einigen Körpern auch zum Teile [illegible] ein Körper bei einer bestimmten Temperatur dunkle

Wärmestrahlen aussendet, in um so stärkerem Verhältnisse absorbiert er auch die auf ihn fallenden dunklen Wärmestrahlen anderer Körper. Unter allen bekannten Körpern strahlt bei gleicher Temperatur der Kienruß die dunklen Wärmestrahlen am reichlichsten aus; und ebenso ist der Kienruß derjenige Körper, welcher dieselben am stärksten absorbiert. — Von polierten Metallen werden die dunklen Wärmestrahlen (so wie die Lichtstrahlen) zum größeren Teile reflektiert, zum geringeren absorbiert; und dementsprechend strahlen die polierten Metalle auch nur wenig Wärme aus.

Diese und andere Erscheinungen haben zu dem folgenden Satze geführt, welcher von Kirchhoff (1860) aus theoretischen Gründen abgeleitet und durch Versuche mit glühenden Metalldämpfen bestätigt worden ist:

Bei einerlei Temperatur findet zwischen dem Emissions- und Absorptionsvermögen für Licht gleicher Wellenlänge bei allen Körpern das nämliche Verhältnis statt.

Diesem Gesetze gemäß werden von glühenden Körpern diejenigen Strahlen auffallenden Lichtes am stärksten absorbiert, welche mit den von den Körpern selbst am reichlichsten ausgesendeten Lichtstrahlen in der Länge der Wellen übereinstimmen.

Als Beleg hierfür führen wir folgendes an: Glühender Natriumdampf strahlt nur gelbes Licht aus; das Spektrum des Natriumdampfes besteht, wie schon im vorherg. §. angegeben, bloß aus einer orangegelben Doppellinie, welche mit der Fraunhoferschen Doppellinie D zusammenfällt. Daß nun der Natriumdampf diese nämlichen gelben Strahlen absorbiert, während er alle andern Strahlengattungen reichlich durch sich hindurchgehen läßt, ergiebt sich aus folgendem: Wenn man das Licht glühenden Kalkes, welcher, wie alle festen und flüssigen Körper, ein kontinuierliches Spektrum giebt, ehe dasselbe auf das Prisma fällt, durch glühenden Natriumdampf hindurchgehen läßt, so zeigen sich jetzt in dem Spektrum des glühenden Kalkes zwei dunkle Linien und zwar genau an der Stelle, an welcher in dem Spektrum des Natriumdampfes die gelbe Doppellinie erscheint, indem gerade diejenigen, in dem weißen Lichte des glühenden Kalkes enthaltenen gelben Strahlen, welche glühender Natriumdampf ausstrahlt, von diesem absorbiert worden sind, das gelbe Licht aber, welches der Natriumdampf selbst ausstrahlt, dem des glühenden Kalkes an Helligkeit weit nachsteht. — Ein ganz ähnliches Verhalten, wie der Natriumdampf in dem angeführten Versuche, zeigen auch andere glühende Dämpfe oder Gase.

Infolge dieser Erscheinungen erklärt Kirchhoff die dunklen Linien im Spektrum des Sonnenlichtes durch die Annahme, daß die Sonne aus einer weißglühenden festen oder flüssigen Masse bestehe, welche von einer Atmosphäre umgeben ist, in der mannigfache Dämpfe oder Gase in ebenfalls glühendem Zustande enthalten sind, und daß durch diese in dem Spektrum des von dem weißglühenden Kerne der Sonne ausgestrahlten Lichtes die dunkeln Fraunhoferschen Linien in ähnlicher Weise hervorgerufen werden wie bei einem vorhin beschriebenen Versuche die dunkle Doppellinie in dem Spektrum des Kalklichtes durch den Natriumdampf.

Da die dunklen Linien im Sonnenspektrum an die Stellen zu liegen kommen, an welchen in den Spektren der Gase oder Dämpfe, denen dieselben ihre Entstehung

verdanken, die hellen farbigen und für diese charakteristischen Linien erscheinen, so bringt uns die Spektralanalyse Kunde von Stoffen, welche in der Atmosphäre der Sonne in Gas oder Dampfform vorhanden sind; sie giebt uns in gleicher Weise Aufschlüsse über die Fixsterne, überhaupt über die durch ihr eigenes Licht sichtbaren Himmelskörper. (Vergl. auch §. 285 und 298.)

Nach den bisherigen Untersuchungen zu schließen, dürften auf der Sonne und andern selbstleuchtenden Himmelskörpern nicht bloß viele, wenn auch nicht alle der Erde angehörende, sondern auch andere, auf der Erde nicht vorkommende Stoffe vorhanden sein.

Außer zum Erkennen der auf der Sonne und andern selbstleuchtenden Himmelskörpern vorkommenden Stoffe haben die Fraunhoferschen Linien in neuerer Zeit auch Anwendung zur Entscheidung der Frage gefunden, ob unser Sonnensystem seine Stellung im Weltraum ändert oder nicht. Die hierauf bezüglichen Messungen stützen sich auf das Dopplersche Princip. (§. 176, b, Anm.) In ähnlicher Weise, wie ein Ton bei Annäherung der Tonquelle uns höher, bei Entfernung derselben niedriger erscheint, muß auch die Farbe einer Lichtquelle sich erhöhen oder erniedrigen, wenn dieselbe sich uns mit einer Geschwindigkeit nähert oder von uns entfernt, welche gegen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts nicht mehr verschwindend klein ist. Daher müssen, wenn wir in einem und demselben Prisma (siehe den vorigen §.) die Spektren zweier Lichtquellen miteinander vergleichen, von denen die eine ihre Entfernung von uns ändert, die andere nicht, die von der erstern herrührenden Linien gegen die von der zweiten Lichtquelle herstammenden etwas verschoben erscheinen und zwar nach dem violetten Ende hin, wenn Annäherung, nach dem roten, wenn Entfernung erfolgt. So hat beispielsweise Huggins (1868) aus der Verschiebung der Fraunhoferschen Linien im Spektrum des Sirius das Resultat gewonnen, daß die Entfernung dieses Fixsternes von unserm Sonnensysteme im Wachsen begriffen sei und aus der Größe der Verschiebung als annähernden Betrag für die Geschwindigkeit, mit welcher sich diese Entfernung vergrößert, eine Geschwindigkeit von 6 Meilen abgeleitet.

§. 208. **Chemische Wirkungen des Lichtes.** In der weitesten Verbreitung zeigt sich der Einfluß des Lichtes in der organischen Natur; mehrenteils ist den Thieren und besonders den Pflanzen das Licht der Sonne zu ihrem Gedeihen unentbehrlich. Unter dem Einflusse desselben nehmen die grünen Pflanzenteile aus der atmosphärischen Luft Kohlensäure auf, eignen sich den Kohlenstoff derselben an und atmen den Sauerstoff aus, während zur Nachtzeit oder im Dunkeln dieser Prozeß nicht stattfindet. Auch in vielen anderen Fällen besteht die Wirkung des Lichtes darin, Sauerstoff, Chlor, Jod u. dgl. aus ihren Verbindungen mit andern Stoffen auszuscheiden. Das weiße Chlorsilber wird im Lichte erst violett, dann schwarz gefärbt, indem das Silber zum Teil in Form eines schwarzen Pulvers reduziert wird; ebenso verhalten sich Brom- und Jodsilber. Hierauf beruht die Anwendung der erwähnten Silbersalze in der Photographie (§. 220).

In anderen Fällen werden auch chemische Verbindungen durch das Licht herbeigeführt. Ein im Dunkeln bereitetes Gemenge von ein Maß Chlorgas und ein Maß Wasserstoffgas vereinigt sich im Sonnenlicht unter heftiger Explosion zu Salzsäure. — Wasser, welches absorbiertes Chlorgas enthält, entwickelt im Sonnenlichte Sauerstoff, indem das Chlor dem Wasser Wasserstoff entzieht, mit welchem es sich zu Salzsäure verbindet. — Das Bleichen des Garnes, der Leinwand u. dgl. beruht darauf, daß der in Wasser unlösliche Farbstoff durch Aufnahme von Sauerstoff zersetzt wird.

Die chemische Wirkungsfähigkeit der verschiedenfarbigen Strahlen ist eine sehr ungleiche; stets gehören aber die Strahlen, welche … en Körper chemisch einwirken, zu denjenigen, welche von dem Körper absorbi … nährungsprozeß der Pflanzen scheinen nach

ehrfachen Untersuchungen die gelben Strahlen am wirksamsten zu sein; die Zersetzung von Salzen ird dagegen vorzüglich durch die blauen, violetten und ultravioletten Strahlen bewirkt. Für iotographische Zwecke eignet sich daher nächst dem Sonnenlichte besonders das elektrische Licht und s Magnesiumlicht (§. 81, Anm.), da diese reich an den stärker brechbaren Strahlen sind. — Die :mische Einwirkung des Lichtes bietet auch ein Mittel dar, durch Photographieren den ultravioletten eil eines Spektrums sichtbar zu machen; bei Anwendung von Sonnenlicht zeigen sich in diesem eile ebenfalls zahlreiche Fraunhofersche Linien. (S. auch §. 204, Anm.)

Die chemische Wirkung des Lichtes ist von Scheele 1773 entdeckt worden. Wollaston und itter haben zuerst 1802 gezeigt, daß die chemischen Wirkungen des Spektrums sich noch über das ußerste Violett hinaus erstrecken, während Herschel fast um dieselbe Zeit gefunden hat, daß die ermischen Wirkungen noch über die äußerste Grenze des Rot hinausgehen.

F. Von den optischen Erscheinungen, welche durch Interferenz entstehen.

§. 209. Von der Interferenz der Lichtwellen im allgemeinen. Benn man in ein verfinstertes Zimmer die Sonnenstrahlen durch eine sehr kleine Öffnung eintreten läßt und dieselben auf einem weißen Schirme auffängt, so erscheint in rundes Sonnenbild. Der Durchmesser dieses Bildes fällt um so größer aus, : weiter der den eintretenden Lichtkegel durchschneidende Schirm von der Öffnung itfernt ist. Läßt man nun die Sonnenstrahlen durch zwei sehr feine, nahe nebennander angebrachte Öffnungen hindurchgehen, so entstehen auf dem Schirme natürlich vei Sonnenbilder. Hält man dann den Schirm so weit von den Öffnungen entfernt, ιß die beiden Bilder zum Teile ineinander greifen, so zeigt sich zwar derjenige Teil, elcher beiden Bildern gemeinschaftlich angehört und also von beiden Öffnungen Licht ıpfängt, im allgemeinen stärker erhellt als die nicht gemeinschaftlichen Teile, auf elche nur die durch die eine oder die andere Öffnung hindurchgegangenen Strahlen llen. Innerhalb des gemeinschaftlichen Teiles jedoch bemerkt man abwechselnd llere und dunklere Streifen; und obschon diese dunkleren Stellen durch beide ffnungen Licht erhalten, erscheinen dieselben doch dunkler als die nur durch die eine ffnung erhellten Stellen. Die Abwechselung von helleren und dunkleren Streifen rschwindet, wenn man die eine Öffnung schließt; man sieht dann nur einen ziemlich eich stark erhellten rundlichen Fleck.

Wir schließen aus dieser Beobachtung, daß Licht zu Licht hinzugefügt sich cht in allen Fällen verstärkt, sondern unter gewissen Bedingungen ch auch schwächen kann.

Diese Erscheinung findet nach der Vibrationshypothese ihre Erklärung in lgendem: —

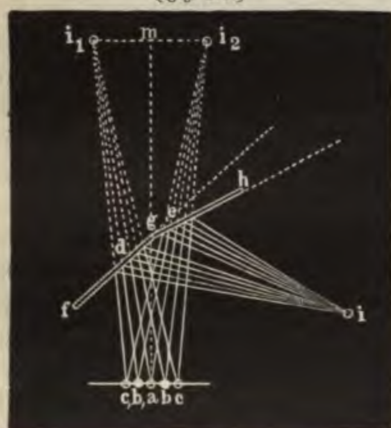
So wie wir früher (§. 182) gesehen haben, daß zwei in der Luft fortschreitende challwellen da, wo sie zusammentreffen, sich ebensowohl verstärken als schwächen nnen, so muß dieses auch, wenn das Licht durch Wellen fortgepflanzt wird, welche e Schwingungen der Moleküle der leuchtenden Körper im Äther erregen, von den chtwellen gelten. Zwei in der nämlichen Richtung fortschreitende Wellen üssen nämlich überhaupt beim Zusammentreffen sich dann verstärken, wenn

die zusammentreffenden Teile sich in gleichen, sie müssen sich dagegen schwächen oder aufheben, wenn diese Teile sich in entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden. So verstärken sich z. B., wie wir schon oben (§. 57, 2) gesehen haben, zwei im Wasser erregte und zusammentreffende Wellen da, wo ihre Wellenberge und ihre Wellenthäler zusammenfallen; sie schwächen sich aber oder heben sich auf, wo der Berg der einen Welle mit dem Thale der andern zusammentrifft.

Der oben beschriebene Versuch, welcher der Emanationshypothese (§. 185, Anm.) direkt entgegensteht, ist schon im Jahre 1665 von dem Italiener Grimaldi angestellt und später von Newton und anderen Physikern wiederholt worden; aber erst zu Anfang dieses Jahrhunderts zeigten Young in England (1800) und Fresnel in Frankreich (1815), wie sich die angeführte Erscheinung und andere, welche noch im folgenden näher erörtert werden sollen, ungezwungen durch die Vibrationshypothese erklären lassen. — Fresnel zeigte auch die Interferenz des Lichtes noch deutlicher durch den nachstehend beschriebenen Versuch.

Er ließ ein schmales homogenes Lichtbündel i (Fig. 279) von zwei Spiegeln reflektieren, welche miteinander einen Winkel fgh von nahezu 180⁰ bildeten. Die reflektierten Strahlen wichen also in ihrer Richtung nur wenig voneinander ab. Ließ er diese Strahlen nun auf einen in einiger Entfernung von den Spiegeln aufgestellten Schirm fallen, so zeigten sich auf letzterem abwechselnd hellere und dunklere Streifen, welche bei Bedeckung eines der Spiegel sofort verschwanden, und zwar waren diese Streifen bei rotem Licht am breitesten, bei violettem am schmälsten, eine Erscheinung, welche nach der Vibrationshypothese folgende einfache Erklärung findet: Der Punkt a, in welchem die auf $i_1 i_2$ in der Mitte m errichtete Senkrechte den Schirm trifft, ist von den beiden Spiegelbildern i_1 und i_2 gleich weit entfernt, mithin sind die Wege, welche die von i ausgehenden und nach Reflexion von beiden Spiegeln in a anlangenden Lichtstrahlen zurückgelegt haben, einander gleich, (denn $id + da = i_1a$ und $ie + ea = i_2a$), die im Punkte a anlangenden Strahlen befinden sich also in gleichen Schwingungszuständen und verstärken sich folglich; im Punkte a entsteht ein heller Streifen. Anders im Punkte b. Liegt der Punkt b derart, daß die Differenz der Wege $i_1b - i_2b$ gleich der halben Wellenlänge des angewandten homogenen Lichtes ist, so langen die von beiden Spiegeln reflektierten Wellen im Punkte b in entgegengesetzten Schwingungszuständen an und heben sich also auf; im Punkte b entsteht Dunkelheit, im Punkte c, für welchen die Differenz der Wege $i_1c - i_2c$ einer ganzen Wellenlänge gleich wird, wieder Helligkeit u. s. w. Bezeichnen wir nun die Entfernung der beiden Bilder $i_1 i_2$ mit p, die Entfernung des Punktes m vom Schirme, also die Linie am mit q und die Breite des Streifens mit β, so ist, die Richtung des Schirmes parallel der Linie $i_1 i_2$ vorausgesetzt,

(Fig. 279.)



$$(i_1b)^2 = q^2 + (\tfrac{1}{2}p + \beta)^2$$
$$(i_2b)^2 = q^2 + (\tfrac{1}{2}p - \beta)^2,$$
mithin
$$(i_1b)^2 - (i_2b)^2 = 2p\beta.$$

Nach einer bekannten Formel ist nun weiter $(i_1b)^2 - (i_2b)^2 = (i_1b + i_2b)(i_1b - i_2b)$. Beachtet man ferner noch, daß die Punkte i_1 und i_2, desgleichen die Punkte a und b nur einen sehr geringen Abstand von einander haben, und daß man infolgedessen angenähert $i_1b + i_2b = 2am = 2q$ setzen kann, so ergiebt sich

$$\frac{p\beta}{q}$$

Zufolge des Obigen ist aber $i_1b - i_2b$ gleich der halben Wellenlänge des angewandten Lichtes; es ist also, wenn die Wellenlänge mit λ bezeichnet wird,

$$\lambda = \frac{2p\beta}{q}.$$

Aus dieser Gleichung sieht man, daß die Wellenlänge λ um so größer sein muß, je größer β, d. h. die Breite der Streifen, ausfällt, und daß umgekehrt die Streifen um so breiter erscheinen müssen, je größer die Wellenlänge ist, also am breitesten bei rotem, am schnellsten bei violettem Lichte. — Vermittelst der vorstehenden Gleichung läßt sich ferner auch die Wellenlänge des angewandten Lichtes berechnen; denn man kann $\beta = ab$, $q = am = ag + gi$ unmitttelbar durch Abmessung finden, während $p = i_1i_2$ aus dem Winkel α, welchen die beiden Spiegel mit einander bilden, und dem Abstande gi leicht $= 2gi \sin\alpha$ abzuleiten ist.

§. 210. Farben dünner Blättchen. Unter den auf der Interferenz der Lichtwellen beruhenden Erscheinungen führen wir ferner die Farbenerscheinungen an, welche sich zeigen, wenn eine durchsichtige Substanz in einer sehr dünnen Schicht vorhanden ist, welche zu beiden Seiten von einem das Licht stärker oder schwächer brechenden Mittel begrenzt wird. Allgemein bekannt ist das schöne Farbenspiel der Seifenblasen, welche von einer dünnen Schicht Seifenwasser eingeschlossen werden, an deren innerer und äußerer Seite sich Luft befindet. Ferner gehören hierher die Farben, die sich in den mit Luft angefüllten Sprüngen des Kalkspats, Gipses und anderer Krystalle zeigen, das bunte Anlaufen des Stahls, wobei sich die Oberfläche desselben mit einer dünnen Oxydschicht bekleidet, die Farbenerscheinungen, welche man wahrnimmt, wenn eine dünne Ölschicht sich über die Oberfläche des Wassers ausbreitet u. a. m.

Die hierbei sich zeigenden Farbenerscheinungen werden durch die Interferenz der von der vorderen und hinteren Grenzfläche der dünnen Schicht reflektierten Lichtwellen hervorgerufen. Das auf eine durchsichtige Schicht AABB (Fig. 280) auffallende Licht wird nämlich an der vorderen Fläche AA teils zurückgeworfen, teils durchgelassen. Der in das Innere eintretende Teil erleidet an der hinteren Fläche BB abermals eine Spaltung; ein Teil desselben tritt aus, ein anderer Teil aber wird nach AA zurückgeworfen, wo er sich nochmals teilt, teils zurückgeworfen, teils durchgelassen wird.

(Fig. 280.)



Diese an der vorderen Fläche AA in der angegebenen Art austretenden Lichtwellen können nun bei ihrem Zusammentreffen mit den von dieser Fläche reflektierten Lichtwellen sich ebensowohl verstärken als schwächen, je nachdem sich dieselben in gleichen oder in ungleichen Schwingungszuständen befinden. Ob das eine oder das andere stattfindet, hängt offenbar von der Länge der Lichtwellen und von der Größe des Weges, welchen die in das Innere der dünnen Schicht eintretenden Wellen innerhalb derselben — bei dem Hingange von der vorderen zur hinteren Fläche und bei dem Rückgange von der hinteren zur vorderen Fläche — zu durchlaufen haben, also von der Dicke der dünnen Schicht ab. Wenn nun für irgend eine Strahlengattung, z. B. für die roten Strahlen, zwischen der Länge der Wellen derselben und der Dicke der dünnen Schicht ein solches Verhältnis stattfindet, daß die von der vorderen und hinteren Fläche der dünnen Schicht reflektierten Wellen bei ihrem Zusammentreffen sich in gleichen Schwingungszuständen befinden, sich also in vollstem Maße verstärken, so wird für

die übrigen Strahlengattungen, da deren Wellenlänge von der des roten Lichts verschieden ist, diese Bedingung nicht in gleichem Maße erfüllt sein; dieselben werden sich zum Teil weniger verstärken, zum Teil sogar schwächen oder aufheben und die dünne Schicht wird folglich dem Auge des Beobachters in der Farbe der sich am meisten verstärkenden Lichtwellen zeigen. Die angeführten Verhältnisse und folglich auch die Farbe, in welcher sich die dünne Schicht zeigt, müssen sich ändern, wenn die Dicke der dünnen Schicht eine Änderung erleidet, wie sich dies so schön bei den Seifenblasen zeigt, bei denen die Dicke der dünnen Schicht von Seifenwasser, welche dieselben einhüllt, bei fortgesetztem Blasen sich immer mehr vermindert und immer andere Farben hervortreten.

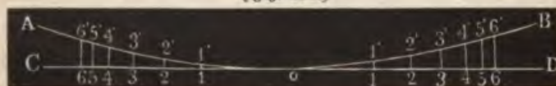
Am gründlichsten lassen sich die Erscheinungen der Farben dünner Blättchen nach dem von Newton angewendeten Verfahren, welches zugleich genaue Abmessungen gestattet, untersuchen. Dieses Verfahren besteht im wesentlichen in folgendem: Wenn man eine konvexe Linse von sehr schwacher Krümmung auf eine möglichst ebene Glasplatte legt und beide Gläser etwas aneinander preßt, so sieht man im reflektierten Tageslicht da, wo sich beide Gläser berühren, einen dunklen Fleck, welcher von regenbogenfarbigen Ringen umgeben ist. Diese Ringe sind um so größer und zeigen sich um so deutlicher, je schwächer die konvexe Linse gekrümmt ist. Man kann sie schon mit Hülfe eines konvexen Brillenglases erzeugen; sie sind aber dann sehr schmal und werden deutlicher wahrgenommen, wenn man dieselben durch eine Lupe betrachtet. Beobachtet man die Erscheinung nicht im zusammengesetzten weißen, sondern im einfarbigen Lichte, so erscheint in der Mitte ein dunkler Fleck, welcher von abwechselnden hellen und dunklen Ringen umgeben ist (Fig. 281). Diese Ringe nehmen, je weiter sie sich von der Mitte entfernen, an Breite und Helligkeit rasch ab, bis sie endlich ganz verschwinden. Die Breiten und Durchmesser sind für verschiedene Farben verschieden; sie sind am größten im roten, am kleinsten im violetten Lichte, wonach man leicht begreift, daß im zusammengesetzten weißen Lichte diejenigen Stellen, welche im einfarbigen Lichte dunkel erscheinen, von den hellen Ringen anderer Farben eingenommen werden, und daß die verschiedenfarbigen Ringe zum Teil ineinander eingreifen und sich vermischen müssen.

(Fig. 281.)



Sind AB und CD (Fig. 282) Durchschnitte der gekrümmten und der ebenen Glasfläche, in denen dieselben von einer durch den Berührungspunkt und den Mittelpunkt der Kugelfläche gehenden Ebene durchschnitten werden, so begreift man leicht, daß sich für jeden hellen oder dunklen Ring, wie er sich im einfarbigen, z. B. im roten Lichte zeigt, aus der abgemessenen Größe seines Durchmessers oder Halbmessers, z. B. aus der Größe von o4 und aus der bekannten Größe des Radius der Kugelfläche die Dicke 44′, welche die beide Gläser trennende Luftschicht an der Stelle hat, an welcher der Ring erscheint, berechnen läßt.*) Indem nun Newton diese Abmessungen und Rechnungen ausführte, entdeckte er folgende Gesetze:

(Fig. 282.)



*) Bezeichnet a den Abstand des betreffenden Ringes von der Mitte, d die Dicke der Luftschicht an der Stelle dieses Ringes und r den Kugelradius, so ist

$$d = r - \sqrt{r^2 - a^2} = r\left(1 - \sqrt{1 - \frac{a^2}{r^2}}\right),$$

wofür sich auch, da a im Verhältnis zu r nur klein ist (nach §. 225, b. der Arithmetik) annähernd setzen läßt

$$d = \frac{a^2}{2r}.$$

1) Für die Mitten der dunklen Ringe verhalten sich im einfarbigen Lichte die n der beide Gläser trennenden Luftschicht wie die geraden Zahlen 2, 4, 6, . . . ,
2) für die Mitten der hellen Ringe aber wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 . . .
In Fig. 282 bezeichnen also 0, 2, 4 . . . solche Stellen, welche im einfarbigen Lichte am sten, und 1, 3, 5 . . . solche Stellen, welche am hellsten erscheinen.

Die angeführten Erscheinungen lassen sich ebenso einfach, als vollständig nach der Vibrations- se erklären, wenn wir noch den folgenden zuerst von Young aufgestellten Satz vorausschicken: eine Lichtwelle an der Grenzfläche, welche zwei Medien von ungleichen Brechungsexponenten, uft und Glas voneinander trennt, zurückgeworfen wird, so wird sie, falls sie sich vor der Reflexion Mittel von geringerer Brechbarkeit (Luft) bewegte, bei der Reflexion an dem dichteren Mittel) um eine halbe Wellenlänge verschoben; diese Verschiebung tritt nicht ein, wenn die Lichtwelle der Reflexion in dem dichteren Mittel bewegte und an der Trennungsfläche von dem dünneren zurückgeworfen wurde. — Langen also Lichtstrahlen, welche die Linse AB (Fig. 282) passiert in dem Punkte O an, in welchem sich die gekrümmte Fläche AB und die ebene Fläche CD n, so wird, obgleich die Strahlen in demselben Punkte O zurückgeworfen werden, doch der an iche CD, also an Glas, reflektierte Strahl von dem an der Grenzfläche von AB, also an Luft, eworfenen Strahle in seinem Gange um eine halbe Wellenlänge verschieden sein; beide Lichtwellen n sich mithin in entgegengesetzten Schwingungszuständen und heben also einander auf; bei O n dunkler Fleck entstehen. Hat weiter die Linie 11′ die Größe von $^1/_4$ Wellenlänge irgend eines nen z. B. des roten Lichtes, so muß ein Strahl, welcher den Weg von 1′ bis 1 und wieder durchlaufen hat und außerdem noch im Punkte 1 um eine halbe Wellenlänge an der Fläche CD den ist, bei seiner Rückkehr im Punkte 1′ wieder in demselben Schwingungszustande eintreffen, chem sich ein im Punkte 1′ an der Grenzfläche von AB, an Luft, zurückgeworfener Strahl t; beide verstärken sich, es wird also an dieser Stelle Helligkeit eintreten. Eine ebensolche Ver- g muß, wie leicht zu übersehen, da stattfinden, wo die Dicke der beide Gläser trennenden icht $^3/_4$, $^5/_4$ . . . . Wellenlänge des roten Lichtes beträgt, also in den Punkten 3′, 5′ . . . ., dann die in den Punkten 3, 5 . . . an Glas reflektierten Wellen bei ihrer Rückkehr in 3′, 5′ . . . n hier an Luft reflektierten Wellen um $2 \times {}^3/_4 + {}^1/_2 = 2$, bez. $2 \times {}^5/_4 + {}^1/_2 = 3$ ganze längen im Gange unterscheiden. Anderseits werden an den Stellen, wo die Dicke der beide trennenden Luftschicht $^2/_4$, $^4/_4$ . . . Wellenlänge des roten Lichtes beträgt, also in 2′, 4′ . . . n AB und CD reflektierten Wellen um $1^1/_2$, $2^1/_2$ . . . Wellenlängen in ihrem Gange differieren, so in entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden, mithin aufheben. — Da ferner nach brationshypothese die verschiedenfarbigen Strahlen eine ungleiche Wellenlänge, die roten die die violetten die kleinste Wellenlänge haben, so erklärt sich hieraus auch, warum im roten Lichte len und dunklen Ringe die größte, im violetten aber die kleinste Breite haben.

Die nämlichen Gesetze gelten auch dann noch, wenn zwischen den beiden Gläsern sich nicht Luft, n irgend eine andere durchsichtige Substanz, z. B. Wasser, befindet. Sämtliche helle und dunkle sind jedoch jetzt etwas schmäler, und wenn aus den Durchmessern derselben die verschiedenen 11′, 22′, 33′, ... der beide Gläser trennenden Wasserschicht abgeleitet werden, so findet man, h dieselben zu den vorhin erhaltenen Werten, als sich Luft zwischen beiden Gläsern befand, wie d. h. (zufolge §. 197) wie die Geschwindigkeiten des Lichtes oder, was dasselbe sagen will, wie ngen der Lichtwellen im Wasser und in der Luft verhalten.

Das Vorhergehende betraf nur die Farbenerscheinungen dünner Schichten durchsichtiger Substanzen, e sich im reflektierten Lichte zeigen; ähnliche, aber schwächere Farbenerscheinungen werden auch urchgelassenen Lichte wahrgenommen. Die Farben, welche man hierbei beobachtet, sind die mentären von denjenigen, welche sich unter gleichen Bedingungen im reflektierten Lichte zeigen, iejenigen Stellen, welche bei Anwendung einfarbigen Lichtes in dem einen Falle hell erscheinen, sich im anderen als dunkel. — Diese Erscheinungen entstehen durch die Interferenz der direkt chgehenden Strahlen mit denjenigen, welche zuerst an der hinteren und dann an der vorderen der dünnen durchsichtigen Schicht eine Reflexion erfahren haben. Sie sind darum nur h, weil diese Strahlen eine sehr ungleiche Intensität besitzen und sich daher nur unvollständig rieren können.

die übrigen Strahlengattungen, da deren Wellenlänge von der des roten Lichts verschieden ist, diese Bedingung nicht in gleichem Maße erfüllt sein; dieselben werden sich zum Teil weniger verstärken, zum Teil sogar schwächen oder aufheben und die dünne Schicht wird folglich dem Auge des Beobachters in der Farbe der sich am meisten verstärkenden Lichtwellen zeigen. Die angeführten Verhältnisse und folglich auch die Farbe, in welcher sich die dünne Schicht zeigt, müssen sich ändern, wenn die Dicke der dünnen Schicht eine Änderung erleidet, wie sich dies so schön bei den Seifenblasen zeigt, bei denen die Dicke der dünnen Schicht von Seifenwasser, welche dieselben einhüllt, bei fortgesetztem Blasen sich immer mehr vermindert und immer andere Farben hervortreten.

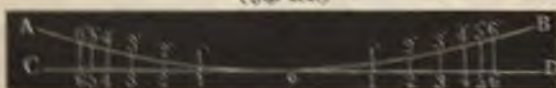
Am gründlichsten lassen sich die Erscheinungen der Farben dünner Blättchen nach dem von Newton angewendeten Verfahren, welches zugleich genaue Abmessungen gestattet, untersuchen. Dieses Verfahren besteht im wesentlichen in folgendem: Wenn man eine konvexe Linse von sehr schwacher Krümmung auf eine möglichst ebene Glasplatte legt und beide Gläser etwas aneinander preßt, so sieht man im reflektierten Tageslicht da, wo sich beide Gläser berühren, einen dunklen Fleck, welcher von regenbogenfarbigen Ringen umgeben ist. Diese Ringe sind um so größer und zeigen sich um so deutlicher, je schwächer die konvexe Linse gekrümmt ist. Man kann sie schon mit Hülfe eines konvexen Brillenglases erzeugen; sie sind aber dann sehr schmal und werden deutlicher wahrgenommen, wenn man dieselben durch eine Lupe betrachtet. Beobachtet man die Erscheinung nicht im zusammengesetzten weißen, sondern im einfarbigen Lichte, so erscheint in der Mitte ein dunkler Fleck, welcher von abwechselnden hellen und dunklen Ringen umgeben ist (Fig. 281). Diese Ringe nehmen, je weiter sie sich von der Mitte entfernen, an Breite und Helligkeit rasch ab, bis sie endlich ganz verschwinden. Die Breiten und Durchmesser sind für verschiedene Farben verschieden; sie sind am größten im roten, am kleinsten im violetten Lichte, wonach man leicht begreift, daß im zusammengesetzten weißen Lichte diejenigen Stellen, welche im einfarbigen Lichte dunkel erscheinen, von den hellen Ringen anderer Farben eingenommen werden, und daß die verschiedenfarbigen Ringe zum Teil ineinander eingreifen und sich vermischen müssen.

(Fig. 281.)



Sind AB und CD (Fig. 282) Durchschnitte der gekrümmten und der ebenen Glasfläche, in denen dieselben von einer durch den Berührungspunkt und den Mittelpunkt der Kugelfläche gehenden Ebene durchschnitten werden, so begreift man leicht, daß sich für jeden hellen oder dunklen Ring, wie er sich im einfarbigen, z. B. im roten Lichte zeigt, aus der abgemessenen Größe seines Durchmessers oder Halbmessers, z. B. aus der Größe von 04 und aus der bekannten Größe des Radius der Kugelfläche die Dicke 44', welche die beide Gläser trennende Luftschicht an der Stelle hat, an welcher der Ring erscheint, berechnen läßt.*) Indem nun Newton diese Abmessungen und Rechnungen ausführte, entdeckte er folgende Gesetze:

(Fig. 282.)



*) Bezeichnet a den Abstand des betreffenden Ringes von der Mitte, d die Dicke der Luftschicht an der Stelle dieses Ringes und r den Kugelradius, so ist

$$d = r - \sqrt{r^2 - a^2} = r\left(1 - \sqrt{1 - \frac{a^2}{r^2}}\right),$$

woraus sich auch, da a im Verhältnis zu r nur klein ist (nach §. 225. b. der Arithmetik) annähernd [illegible] läßt

d = [illegible]

1) Für die Mitten der dunklen Ringe verhalten sich im einfarbigen Lichte die Dicken der beide Gläser trennenden Luftschicht wie die geraden Zahlen 2, 4, 6, . . . ,

2) für die Mitten der hellen Ringe aber wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 . . .

In Fig. 282 bezeichnen also 0, 2, 4 . . . solche Stellen, welche im einfarbigen Lichte am dunkelsten, und 1, 3, 5 . . . solche Stellen, welche am hellsten erscheinen.

Die angeführten Erscheinungen lassen sich ebenso einfach, als vollständig nach der Vibrationshypothese erklären, wenn wir noch den folgenden zuerst von Young aufgestellten Satz vorausschicken: Wenn eine Lichtwelle an der Grenzfläche, welche zwei Medien von ungleichen Brechungsexponenten, z. B. Luft und Glas voneinander trennt, zurückgeworfen wird, so wird sie, falls sie sich vor der Reflexion in dem Mittel von geringerer Brechbarkeit (Luft) bewegte, bei der Reflexion an dem dichteren Mittel (Glase) um eine halbe Wellenlänge verschoben; diese Verschiebung tritt nicht ein, wenn die Lichtwelle sich vor der Reflexion in dem dichteren Mittel bewegte und an der Trennungsfläche von dem dünneren Mittel zurückgeworfen wurde. — Langen also Lichtstrahlen, welche die Linse AB (Fig. 282) passiert haben, in dem Punkte O an, in welchem sich die gekrümmte Fläche AB und die ebene Fläche CD berühren, so wird, obgleich die Strahlen in demselben Punkte O zurückgeworfen werden, doch der an der Fläche CD, also an Glas, reflektierte Strahl von dem an der Grenzfläche von AB, also an Luft, zurückgeworfenen Strahle in seinem Gange um eine halbe Wellenlänge verschieden sein; beide Lichtwellen befinden sich mithin in entgegengesetzten Schwingungszuständen und heben also einander auf; bei O muß ein dunkler Fleck entstehen. Hat weiter die Linie 11′ die Größe von $1/4$ Wellenlänge irgend eines homogenen z. B. des roten Lichtes, so muß ein Strahl, welcher den Weg von 1′ bis 1 und wieder zurück durchlaufen hat und außerdem noch im Punkte 1 um eine halbe Wellenlänge an der Fläche CD verschoben ist, bei seiner Rückkehr im Punkte 1′ wieder in demselben Schwingungszustande eintreffen, in welchem sich ein im Punkte 1′ an der Grenzfläche von AB, an Luft, zurückgeworfener Strahl befindet; beide verstärken sich, es wird also an dieser Stelle Helligkeit eintreten. Eine ebensolche Verstärkung muß, wie leicht zu übersehen, da stattfinden, wo die Dicke der beide Gläser trennenden Luftschicht $3/4$, $5/4$ . . . . Wellenlänge des roten Lichtes beträgt, also in den Punkten 3′, 5′ . . . ., da sich dann die in den Punkten 3, 5 . . . an Glas reflektierten Wellen bei ihrer Rückkehr in 3′, 5′ . . . von den hier an Luft reflektierten Wellen um $2 \times 3/4 + 1/2 = 2$, bez. $2 \times 5/4 + 1/2 = 3$ ganze Wellenlängen im Gange unterscheiden. Anderseits werden an den Stellen, wo die Dicke der beide Gläser trennenden Luftschicht $2/4$, $4/4$ . . . Wellenlänge des roten Lichtes beträgt, also in 2′, 4′ . . . die von AB und CD reflektierten Wellen um $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ . . . Wellenlängen in ihrem Gange differieren, sich also in entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden, mithin aufheben. — Da ferner nach der Vibrationshypothese die verschiedenfarbigen Strahlen eine ungleiche Wellenlänge, die roten die größte, die violetten die kleinste Wellenlänge haben, so erklärt sich hieraus auch, warum im roten Lichte die hellen und dunklen Ringe die größte, im violetten aber die kleinste Breite haben.

Die nämlichen Gesetze gelten auch dann noch, wenn zwischen den beiden Gläsern sich nicht Luft, sondern irgend eine andere durchsichtige Substanz, z. B. Wasser, befindet. Sämtliche helle und dunkle Ringe sind jedoch jetzt etwas schmäler, und wenn aus den Durchmessern derselben die verschiedenen Dicken 11′, 22′, 33′, ... der beide Gläser trennenden Wasserschicht abgeleitet werden, so findet man, daß sich dieselben zu den vorhin erhaltenen Werten, als sich Luft zwischen beiden Gläsern befand, wie 3 : 4, d. h. (zufolge §. 197) wie die Geschwindigkeiten des Lichtes oder, was dasselbe sagen will, wie die Längen der Lichtwellen im Wasser und in der Luft verhalten.

Das Vorhergehende betraf nur die Farbenerscheinungen dünner Schichten durchsichtiger Substanzen, wie sie sich im reflektierten Lichte zeigen; ähnliche, aber schwächere Farbenerscheinungen werden auch im durchgelassenen Lichte wahrgenommen. Die Farben, welche man hierbei beobachtet, sind die komplementären von denjenigen, welche sich unter gleichen Bedingungen im reflektierten Lichte zeigen, und diejenigen Stellen, welche bei Anwendung einfarbigen Lichtes in dem einen Falle hell erscheinen, zeigen sich im anderen als dunkel. — Diese Erscheinungen entstehen durch die Interferenz der direkt hindurchgehenden Strahlen mit denjenigen, welche zuerst an der hinteren und dann an der vorderen Fläche der dünnen durchsichtigen Schicht eine Reflexion erfahren haben. Sie sind darum nur schwach, weil diese Strahlen eine sehr ungleiche Intensität besitzen und sich daher nur unvollständig interferieren können.

Weiter haben wir noch die Frage zu beantworten, warum nur bei dünnen Blättchen, nicht auch bei dickeren Platten durch die Interferenz der von der vorderen und hinteren Fläche reflektierten Lichtwellen Farbenerscheinungen hervorgerufen werden. Der Grund ist folgender: Wie wir im vorhergehenden gesehen haben, wird der Schwingungszustand, in welchem die von der hinteren Seite des Blättchens AABB (Fig. 280) zurückgeworfene Lichtwelle aus demselben austritt, durch die Größe des Weges, welchen diese Lichtwelle innerhalb des dünnen Blättchens zurückgelegt hat, bestimmt. Die Größe dieses Weges hängt aber offenbar von dem Winkel, unter welchem die Lichtstrahlen einfallen, und von der Dicke der dünnen Schicht AABB ab. Denken wir uns nun, daß mehrere Strahlen die nämliche Stelle unter wenig voneinander abweichenden Winkeln treffen, so werden die etwas schiefer auffallenden Strahlen auch einen etwas größeren Weg als die weniger schief auffallenden Strahlen innerhalb der dünnen Schicht zurücklegen. Ist die Schicht AABB sehr dünn, so sind diese Wege nur klein und können sich folglich auch nur um ein Geringes voneinander unterscheiden. Es werden daher sämtliche Lichtwellen in nahe gleichen Schwingungszuständen an der vorderen Seite AA austreten und folglich auch die nämliche Interferenzerscheinung bewirken, also in einem Auge, welches von denselben getroffen wird, den Eindruck derselben Farbe hervorrufen. Denken wir uns alle übrigen Umstände unverändert bleibend, aber die Schicht AABB zehn- oder hundertmal dicker, so werden auch die besprochenen Wege innerhalb derselben zehn- oder hundertmal größer; es wird daher auch ihre Differenz sich um das Zehn- oder Hundertfache vergrößern, und es werden folglich die an der vorderen Fläche AA austretenden Lichtwellen sich nicht mehr in nahezu gleichen, sondern in verschiedenen Schwingungszuständen befinden und zwar offenbar um so mehr, je größer die Dicke der Schicht AABB ist. Ist daher die Dicke dieser Schicht beträchtlich, so wird das Auge von der nämlichen Stelle nicht mehr den Eindruck einer einzelnen, sondern aller möglichen Farben erhalten und folglich dieselbe im weißen Lichte erblicken.

Endlich führen wir noch an, daß die Erscheinungen der Newtonschen Farbenringe zufolge der obigen Entwickelung ein zweites Mittel darbieten, die absolute Größe der Wellenlängen für die verschiedenfarbigen Strahlen zu bestimmen. Ist aber für eine Strahlengattung die Wellenlänge λ bekannt, so läßt sich hieraus und aus der bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im Äther (300 000 km, §. 190), welche wir mit c bezeichnen wollen, auch die Schwingungszahl n leicht finden. Es ist nämlich nach dem Gesetze, welches wir oben §. 175, Anm. in Hinsicht der Schallwellen kennen gelernt haben, und welches ebenso auch für die Lichtwellen gilt,

$$c = n\lambda, \text{ also } n = \frac{c}{\lambda}.$$

Aus den schon von Newton und später von anderen Physikern nach einer anderen Methode (vergl. den folg. §.) mit der größten Schärfe ausgeführten Messungen ergeben sich für die Hauptstrahlengattungen die in der folgenden Tabelle enthaltenen Zahlen.

Fraunhofersche Linie.	Wellenlänge in Millimetern.	Schwingungszahl.
A (rot)	0.00076	395 Billionen
B (rot)	0.00069	435 "
C (rot)	0.00066	455 "
D (goldgelb)	0.00059	506 "
E (grün)	0.00053	566 "
F (blaugrün)	0.00049	612 "
G (blau)	0.00043	698 "
H (violett)	0.00039	769 "

Während die Schwingungszahl des höchsten wahrnehmbaren Tones die des tiefsten mehrere tausend Mal (vergl. oben §. 166) übertrifft, stehen diese Zahlen für das am meisten und am wenigsten brechbare Licht nur etwa in dem Verhältn[illegible] Es beträgt also der sichtbare Teil des Spektrums nach der Ausdrucksweise der Musik nu[illegible] Diejenigen Wellen, deren Schwingungs-

zahlen außerhalb dieser Grenzen fallen, vermögen auf der Netzhaut nicht mehr die Empfindung des Lichtes hervorzurufen, sondern offenbaren sich nur noch durch ihre erwärmenden und chemischen Eigenschaften. (Vergl. auch §. 208 und 252.)

Die Wellenlänge der äußersten ultraroten Strahlen des Sonnenlichtes ist (nach J. Müller) 0,0048 mm, also ihre Schwingungszahl etwa 60 Billionen, die Wellenlänge der äußersten ultravioletten Strahlen (nach A. Cornu) etwa 0,0003 mm, demnach ihre Schwingungszahl ungefähr 1000 Billionen. Das ultrarote Spektrum umfaßt hiernach beinahe 3 Oktaven, das ultraviolette dagegen nur etwa $^1/_4$ Oktave. Trotzdem ist das letztere fast ebenso lang wie das erstere. Es erklärt sich dies daraus, daß die Strahlen um so stärker zerstreut werden, je höher ihre Brechbarkeit ist. Aus diesem Grunde erscheinen auch in dem sichtbaren Spektrum die höheren Farben (die blauen und violetten) ausgedehnter als die niederen (die gelben und roten).

§. 211. Beugung oder Inflexion des Lichtes. Erzeugt man auf die schon in §. 209 angegebene Weise, indem man in ein dunkles Zimmer durch eine sehr feine Öffnung Sonnenstrahlen eintreten läßt und dieselben dann auf einer weißen Fläche auffängt, ein Bild der Sonne, so zeigt sich bei genauer Betrachtung, daß der Durchmesser dieses Bildes größer ist als er zufolge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes sein sollte; ferner ist das im übrigen weiße Sonnenbild am Rande von farbigen Ringen eingefaßt. Wir schließen hieraus, daß das Licht bei seinem Vorübergange an den Kanten undurchsichtiger Körper eine Ablenkung von der geraden Linie erleidet. Diese Ablenkung bezeichnet man als Beugung oder Inflexion des Lichtes. — Die Erscheinungen der Beugung treten noch deutlicher hervor, wenn man bei dem obigen Versuche die eindringenden Sonnenstrahlen zunächst auf eine Platte fallen läßt, in welcher sich ein sehr feiner Spalt befindet, und die durch den Spalt hindurchgegangenen Strahlen mit einem weißen Schirme auffängt. Man erblickt dann auf dem Schirme einen dem Spalte parallelen hellen Streifen und neben demselben zu beiden Seiten mehrere regenbogenfarbige Streifen.

Die nämlichen Streifen beobachtet man auch, wenn man einen leuchtenden Punkt, z. B. das Bild der Sonne in einem gut polierten konvexen Metallknopfe, durch eine kleine Öffnung oder einen feinen Spalt betrachtet.

Beobachtet man die Erscheinungen nicht im zusammengesetzten weißen, sondern im einfarbigen z. B. roten Lichte, indem man die Sonnenstrahlen, bevor sie auf das Metallblättchen fallen, durch ein tief rot gefärbtes Glas hindurchgehen läßt oder indem man ein solches Glas vor das Auge hält, so bemerkt man nur abwechselnd hellere rote und dunklere Streifen, wie dieses ungefähr Fig. 283 zeigt. Die Streifen werden um so schmäler und schwächer, je weiter sie sich von der Mitte entfernen. — Dieselbe Erscheinung findet im wesentlichen statt, wenn man irgend eine andere Strahlengattung anwendet; nur haben die hellen und dunklen Streifen für verschiedene Farben eine verschiedene Breite: sie sind am schmälsten im violetten, am breitesten im roten Lichte. Da hiernach die hellen Streifen für verschiedene Farben an verschiedene Stellen fallen, so sieht man leicht ein, daß im zusammengesetzten weißen Lichte die hellen Streifen der verschiedenen Strahlen-

(Fig. 283.)



gattungen zum Teil nebeneinander zu liegen kommen, zum Teil ineinander greifen und sich vermischen müssen, weshalb die dunklen Zwischenräume hier gänzlich fehlen.

Diese Erscheinungen werden nach der Vibrationshypothese im wesentlichen in folgender Art erklärt: — Indem eine Lichtwelle auf eine kleine Öffnung oder auf einen feinen Spalt trifft, erschüttert sie die hier befindlichen Ätherteilchen, und indem diese ihre Erschütterung den benachbarten Ätherteilchen mitteilen, erzeugen sie ebensoviele neue, sich um dieselben als Mittelpunkte ausbreitende Ätherwellen, welche zufolge des Interferenzgesetzes sich nicht bloß verstärken, sondern auch aufheben und schwächen können, je nachdem sie beim Zusammentreffen sich in gleichen oder entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden, wodurch in den oben angeführten Versuchen bei Anwendung einfarbigen Lichtes die abwechselnden hellen und dunklen Streifen entstehen, welche für verschiedene Farben eine ungleiche Breite, im roten Lichte die größte, im violetten die kleinste Breite haben, weil den Wellen des roten Lichtes die größte, denen des violetten Lichtes die kleinste Länge zukommt.

Zu den auf der Beugung des Lichtes beruhenden Erscheinungen gehören die Farben, welche man an Spinnweben und feinen Haaren im Sonnenlichte bemerkt, ferner wenn man durch den Bart einer feinen Feder, durch die Haare eines Hutes, durch die Haare der Augenwimpern bei nahe geschlossenen Augen, durch fein gewebte Zeuge oder Bänder nach einer Lichtflamme oder nach der Sonne sieht.

Die ausführlichere Erklärung der oben angeführten Beugungsphänomene ist folgende: — Wenn eine Lichtwelle auf eine sehr kleine Öffnung oder einen feinen Spalt CD (Fig. 284) trifft, so setzt sie die hier befindlichen Ätherteilchen in Schwingungen, und indem diese ihre schwingende Bewegung den benachbarten Ätherteilchen mitteilen, entsteht ein System von Wellen (Elementarwellen), welche ihre Mittelpunkte in den zwischen C und D liegenden Ätherteilchen haben. Ist nun A ein von C und D gleich weit abstehender Punkt einer der Öffnung gegenüberliegenden Wand und von dieser in Vergleich mit dem sehr klein angenommenen Durchmesser der Öffnung weit entfernt, so daß wir die Randstrahlen AC und AD nahezu als parallel ansehen können, so werden sämtliche Elementarwellen bei ihrem Zusammentreffen in A nahezu gleiche Wege durchlaufen haben, sich also in gleichem Schwingungszustande befinden und folglich verstärken. Es wird daher in A der Öffnung CD gerade gegenüber ein heller Punkt erscheinen.

(Fig. 284.)



Es sei ferner B ein Punkt der Wand, dessen Entfernungen von C und D sich um eine ganze Wellenlänge unterscheiden; bezeichnen wir dann die Mitte der Öffnung in Gedanken mit M, so wird die Linie BC die Linie BM und BM die Linie BD (sehr nahe) um eine halbe Wellenlänge übertreffen. Wenn wir nun die zwischen C und M liegenden Ätherteilchen, welche die Mittelpunkte von Elementarwellen bilden, in der Ordnung, in welcher sie von C nach D hin aufeinander folgen, mit a_1, a_2, a_3 u. s. w. und ebenso die zwischen M und D liegenden Ätherteilchen mit b_1, b_2, b_3 u. s. w. [illegible], so werden die von a_1 und b_1 ausgegangenen Elementarwellen sich bei ihrer Ankunft in B [illegible] um eine halbe Wellenlänge unterscheiden und also in entgegengesetzten Schwingungs[illegible]; sie werden sich daher gegenseitig schwächen oder aufheben. Dasselbe wird ebenso [illegible] a_2 und b_2 und den von ihnen ausgegangenen Elementarwellen, ferner von a_3 [illegible]. Da hiernach die von den Ätherteilchen der einen Hälfte CM ausgegangenen [illegible] von der andern Hälfte MD entsprungenen, wenn nicht ganz aufheben, [illegible] so wird in B [illegible] Punkt erscheinen.

Es sei ferner A′ ein Punkt der Wand, dessen Abstände von C und D sich um drei halbe Wellenlängen unterscheiden. Denken wir uns jetzt CD in drei gleiche Teile geteilt, so folgt durch eine der vorhergehenden ganz ähnliche Überlegung, daß die aus den Ätherteilchen des ersten Drittels entsprungenen Elementarwellen sich mit denen des zweiten Drittels aufheben oder sich gegenseitig schwächen. Es wird daher in A′ nur noch die Wirkung der von den Ätherteilchen des dritten Drittels entsprungenen Elementarwellen übrig bleiben und folglich in A′ ein heller, aber bei weitem schwächer erleuchteter Punkt als in A erscheinen.

Ist ferner B′ ein Punkt der Wand, dessen Abstände von C und D sich um vier halbe oder zwei ganze Wellenlängen unterscheiden, so wollen wir uns CD in vier gleiche Teile geteilt denken. Dann erkennen wir zufolge der vorhergehenden Auseinandersetzung leicht, daß die Elementarwellen des ersten und zweiten Viertels und ebenso die des dritten und vierten Viertels sich gegenseitig schwächen oder aufheben, und daß also in B′ ein dunkler Punkt erscheinen muß.

Ebenso läßt sich weiter zeigen, daß ein Punkt, dessen Abstände von C und D sich um fünf halbe Wellenlängen unterscheiden, hell, und ein Punkt, dessen Abstände von C und D sich um sechs halbe oder drei ganze Wellenlängen unterscheiden, dunkel erscheinen muß u. s. w.

Bisher haben wir nur einzelne, bestimmte Punkte der Wand betrachtet, welche die durch die schmale Öffnung hindurchgegangenen Lichtstrahlen auffängt. Man sieht indes leicht ein, daß für eine z. B. zwischen A und B liegende Stelle ein überwiegendes Verstärken oder Schwächen der an dieser Stelle zusammentreffenden Elementarwellen um so mehr stattfinden muß, je näher dieselbe an A oder B liegt, und daß daher die Erleuchtung der Wand von A bis B allmählich abnehmen, dann von B bis A′ wieder zunehmen muß u. s. w., wonach denn auf der Wand abwechselnd helle und dunkle Streifen erscheinen müssen.

Weiter geht aus der obigen Entwickelung hervor, daß die Punkte A, B, A′, B′ . . . unter übrigens gleichen Umständen um so näher aneinander rücken müssen, die hellen und dunklen Streifen also um so schmäler werden, je größer die Breite der Öffnung ist. Bei beträchtlich breiten Öffnungen werden daher diese Streifen allzu schmal, um noch vom Auge unterschieden zu werden; die Lichteindrücke verwischen sich.

Ferner folgt aus dem Vorhergehenden, daß die Punkte A, B, A′, B′, . . . um so weiter auseinander rücken, also die abwechselnd hellen und dunklen Streifen um so breiter werden, je größer die Länge der Wellen des diese Streifen erzeugenden Lichtes ist. Sie müssen folglich im roten Lichte am breitesten, im violetten am schmälsten sein, was auch die Erfahrung vollkommen bestätigt.

Da hiernach für verschiedenfarbige Strahlen, d. h. für Strahlen von ungleicher Wellenlänge die hellen Streifen an verschiedene Stellen fallen, so folgt hieraus, daß im zusammengesetzten weißen Lichte, während in der Mitte A (Fig. 284) alle farbigen Strahlen sich verstärken, zu beiden Seiten von der Mitte die hellen Streifen der einen Strahlengattung zum Teil in die dunklen Stellen der anderen fallen und die verschiedenfarbigen Streifen zum Teil ineinander eingreifen müssen. Es zeigt sich daher bei weißem Lichte in der Mitte ein weißer, zu beiden Seiten von farbigen Säumen eingefaßter Streifen.

Wie aus der vorstehenden Entwicklung hervorgeht, bieten die Erscheinungen der Beugung zugleich ein drittes Mittel dar, die absolute Größe der Lichtwellen abzumessen, wozu sie von verschiedenen Physikern benutzt worden sind (s. d. vor. §.).

Im vorhergehenden haben wir nur diejenigen Erscheinungen näher erörtert, welche durch die Beugung des Lichtes an den Rändern einer sehr kleinen Öffnung oder eines schmalen Spaltes entstehen. Ähnliche Erscheinungen werden jedoch auch durch die Beugung hervorgebracht, welche das Licht an den Rändern eines einzigen sehr schmalen Körpers erleidet. Läßt man z. B. das durch eine kleine Öffnung in ein verfinstertes Zimmer einfallende Sonnenlicht auf einen sehr schmalen Körper, z. B. einen feinen Metalldraht fallen und fängt man dann den Schatten desselben auf einem weißen Schirme auf, so zeigen sich sowohl im Innern als auch zu beiden Seiten des Schattens farbige Streifen, welche sämtlich verschwinden, wenn man an den schmalen Körper an einer Seite eine breite Platte ansetzt.

Diese Beugungs-Erscheinungen erklären sich noch einfacher als die oben für feine Spalten angegebenen; denn denkt man sich auf den schmalen Körper einfaches Licht auffallend, so begreift man

sogleich, daß die von den Rändern ausgegangenen Elementarwellen an solchen Stellen, welche von beiden Rändern gleich weit abstehen, oder deren Abstände sich um 2, 4, 6 . . . halbe Wellenlängen unterscheiden, sich verstärken, an solchen Stellen aber, deren Entfernungen von den Rändern des schmalen Körpers um 1, 3, 5 . . . halbe Wellenlängen unterschieden sind, sich schwächen oder aufheben müssen, was auch die Beobachtung vollkommen bestätigt.

Sehr schöne, aber verwickeltere Erscheinungen der Beugung werden erhalten, wenn man das Licht durch mehrere nahe nebeneinander liegende feine Spalte, z. B. durch ein Glas, in welches dicht nebeneinander parallele feine Linien eingeätzt sind, oder durch ein enges Gitter oder durch mehrere hintereinander liegende Öffnungen gehen läßt. Auf diese Erscheinungen können wir jedoch hier nicht näher eingehen.

Die Erscheinungen der Beugung des Lichtes sind zuerst von Grimaldi zugleich mit der in §. 207 beschriebenen Interferenzerscheinung beobachtet worden.

§. 212. **Höfe um Sonne und Mond.** Wenn die Atmosphäre mit Dünsten angefüllt ist, oder wenn vor dem Monde dünne Wolken vorüberziehen, sieht man denselben häufig von farbigen Ringen umgeben, deren innerster sich unmittelbar an den Mond anschließt, und deren äußerster nur einen Durchmesser von wenigen Graden hat. Man bemerkt diese Höfe auch zuweilen um die Sonne, aber wegen des allzu blendenden Lichtes derselben bei weitem seltener als um den Mond. Man erklärt diese Erscheinung durch die Beugung, welche die Strahlen des Mondes oder der Sonne an den in der Atmosphäre schwebenden Dunstkügelchen erleiden. — Wenn man eine Glasscheibe schwach anhaucht und durch dieselbe den Mond oder eine Lichtflamme betrachtet, so sieht man den Mond oder die Lichtflamme von ganz ähnlichen farbigen Ringen umgeben.

Zuweilen sieht man die Sonne oder den Mond von einem größeren hellen Ringe von etwa 45° Durchmesser umgeben. Der Ring wird häufiger bei niedrigem Stande der Sonne, bei strenger Kälte und in höheren Breiten beobachtet. — Man erklärt diese Erscheinung als die Wirkung von Reflexionen und Brechungen, welche die Lichtstrahlen an und in den feinen Eisnadeln erfahren, die in den höheren Luftschichten, deren Temperatur unter dem Eispunkte liegt, schweben, worauf wir jedoch bei der großen Schwierigkeit dieser Erklärung nicht eingehen können. (S. auch §. 245, Anm.)

Der Ring wird zuweilen von einem horizontalen, durch das Gestirn gehenden lichten Streifen durchschnitten, der besonders hell an den Durchschnittsstellen erscheint, die man dann als Nebensonnen oder Nebenmonde zu bezeichnen pflegt.

— —

6. Von der Polarisation und der doppelten Brechung des Lichtes.

§. 213. **Polarisierung durch Zurückwerfung.** Wenn ein Lichtstrahl ab [illegible] AB auffällt, so wird er [illegible] der Neigungs- [illegible] Spiegelfläche [illegible] be in gewissen, [illegible] Lichtstrahle und [illegible] auf eine zweite Glasplatte CD, so [illegible] wenn

die durch den einfallenden Strahl ab und den reflektierten Strahl bc gelegte Einfallsebene, welche bekanntlich auf der Spiegelfläche AB senkrecht ist, auch auf der zweiten Spiegelfläche CD senkrecht steht und folglich der von dieser reflektierte Strahl cd mit ab und bc in der nämlichen Ebene liegt, also zunächst, wenn beide Spiegel die in der Figur abgebildete Stellung haben, und dann ferner, wenn die Ebenen beider Spiegel einander parallel sind. — Wird der zweite Spiegel CD, welcher mit seiner Rückseite an einer drehbaren Walze E so befestigt ist, daß er mit der Achse derselben einen Winkel von 35° bildet, durch Umdrehung der Walze E in andere Stellungen geführt, so behält zwar der Winkel, unter welchem der polarisierte Strahl bc die Spiegelfläche CD trifft, fortwährend dieselbe Größe von 35° bei, die Intensität des reflektierten Strahles cd nimmt aber während der Drehung immer mehr ab, derselbe verschwindet fast gänzlich, wenn die Umdrehung 90° erreicht hat. Fährt man fort zu drehen, so nimmt die Intensität des reflektierten Strahles wieder zu und erreicht bei 180° abermals ein Maximum. Dreht man dann noch weiter von 180° bis 270°, von 270° bis 360°, so kehren dieselben Erscheinungen wieder, welche wir soeben für die Umdrehungen der Glasplatte CD von 0° bis 90° und von 90° bis 180° beschrieben haben. Das reflektierte Licht erreicht also bei einer vollständigen Umdrehung der Glasplatte CD um 360° zweimal ein Maximum, bei 0° und bei 180°, und zweimal ein Minimum, bei 90° und bei 270°.

(Fig. 285.)



Gewöhnlich wendet man zu den Versuchen über die Polarisation des Lichtes Platten von Spiegelglas an, welche man zur Abhaltung fremdartigen Lichtes an der Rückseite geschwärzt hat. Auf den Spiegel AB läßt man entweder das Licht einer kleinen Lichtflamme, welche in solcher Richtung und Entfernung von demselben aufgestellt ist, daß die auffallenden Strahlen mit der Spiegelfläche AB nahezu einen Winkel von 35° bilden, (also beträchtlich weiter, als die Figur dies darstellt), oder das Licht der Wolken auffallen. In dem letzteren Falle bringt man zwischen beiden Spiegeln einen Schirm mit einer kleinen Öffnung so an, daß nur die nahezu unter dem Winkel von 35° von dem Spiegel AB reflektierten Strahlen auf den Spiegel CD gelangen können. Der Spiegel AB, auf welchen das Licht zuerst auffällt, und von dem es als polarisiert zurückgeworfen wird, heißt der Polarisationsspiegel, der andere Spiegel CD, welcher das durch den ersten polarisierte Licht auffängt, der Zerlegungsspiegel.

Bei der in der Figur abgebildeten Stellung der beiden Spiegel AB und CD erblickt ein in der Richtung der reflektierten Strahlen cd befindliches Auge das Gesichtsfeld in dem Spiegel CD erhellt. Dasselbe ist der Fall, wenn der Spiegel CD um 180° gedreht worden, also mit AB parallel ist. Das Gesichtsfeld dagegen *erscheint dunkel nach der Umdrehung* um 90° oder 270°.

Man kann dieses Gesetz auch so ausdrücken: Das Gesichtsfeld erscheint hell, wenn die Reflexionsebenen des Polarisations- und des Zerlegungsspiegels zusammenfallen; es erscheint dunkel, wenn diese Ebenen aufeinander senkrecht stehen. — Man nennt nämlich Reflexionsebene die durch den reflektierten Strahl senkrecht zur reflektierenden Fläche gelegte Ebene.

Eine durch einen polarisierten Lichtstrahl in der Richtung gelegte Ebene, in welcher derselbe am vollständigsten reflektiert wird, wird die Polarisationsebene desselben genannt.

Man unterscheidet vollständig und unvollständig polarisiertes Licht. Wenn ein vollständig polarisierter Lichtstrahl unter einem Winkel von 35° auf eine Glasplatte fällt, welche in der oben angegebenen Art um 360° gedreht wird, so verschwindet der reflektierte Strahl zweimal gänzlich. Bei einem unvollständig polarisierten Lichtstrahle dagegen findet während einer ganzen Umdrehung des Zerlegungsspiegels zwar ebenfalls eine wechselnde Zu- und Abnahme des reflektierten Teiles statt, jedoch ohne daß derselbe gänzlich verschwindet, welches auch immer der Winkel sein mag, welchen der einfallende Strahl mit der reflektierenden Glasplatte bildet. — Ein gewöhnlicher Lichtstrahl unterscheidet sich von einem (vollständig oder unvollständig polarisierten) Strahle darin, daß, wenn derselbe auf eine spiegelnde Fläche unter irgend einem Winkel auffällt, die Intensität des reflektierten Strahles unverändert dieselbe bleibt, wenn man die reflektierende Fläche um eine Achse so dreht, daß sie mit dem einfallenden Strahle beständig den nämlichen Winkel bildet.

Ein Lichtstrahl wird vollständig polarisiert, wenn er von einer Glasplatte unter einem Winkel von (ungefähr) 35° reflektiert wird. Er wird unvollständig polarisiert, wenn diese Zurückwerfung unter einem anderen Winkel geschieht.

Auch andere Substanzen als Glas, die Oberfläche des Wassers, Öles, poliertes Holz, überhaupt fast alle glatten und polierten Flächen können als Polarisationsspiegel dienen. Metallspiegel dagegen sind für diesen Zweck ungeeignet, da sie das Licht nur sehr unvollständig polarisieren. Der Winkel, unter welchem das von einer polierten Oberfläche zurückgeworfene Licht am vollständigsten polarisiert wird, und welcher, wie wir gesehen haben, für Glas (ungefähr) 35° beträgt, hat für verschiedene Substanzen verschiedene Werte.

Auch das von unpolierten Flächen unregelmäßig zurückgeworfene Licht, das von den Wolken reflektierte Licht, selbst das Licht des heiteren Himmels ist teilweise polarisiert.

Wir haben uns bisher nur mit dem durch Reflexion polarisierten Lichte beschäftigt. Auch das durch einen durchsichtigen Körper, z. B. eine Glasplatte, hindurchgegangene Licht ist teilweise polarisiert; der durchgelassene Strahl wird vollständiger polarisiert, wenn man denselben durch mehrere parallele Glasplatten hindurchgehen läßt. Der auf diese Art erhaltene und der durch Reflexion polarisierte Strahl unterscheiden sich insofern voneinander, als ihre Polarisationsebenen aufeinander senkrecht stehen.

Die Polarisation des Lichtes ist zuerst von dem Franzosen Malus 1808 entdeckt worden.

Nach der Vibrationshypothese unterscheid lerter Lichtstrahl von einem gewöhnlichen dadurch, daß bei ersterem die Ätherteilchen nur sterem aber in verschiedenen Ebenen

schwingen. Ob aber bei einem polarisierten Lichtstrahle die Ätherteilchen in der Polarisationsebene oder in einer zu derselben senkrechten Ebene schwingen, darüber sind zur Zeit die Ansichten der Physiker noch geteilt. Welche von beiden Annahmen aber auch die richtige sein mag, so findet doch ebenso in der einen, wie in der andern die Erscheinung ihre genügende Erklärung, daß zwei polarisierte Strahlen, deren Polarisationsebenen aufeinander senkrecht stehen, sich nicht interferieren. Diese Erscheinung ist der Grund, weshalb man, wie wir schon oben in der Anmerkung zu §. 185 angegeben haben, annimmt, daß die Schwingungen der Ätherwellen, welche das Licht fortpflanzen, nicht wie die Schwingungen der den Schall fortpflanzenden Luftwellen in einer der Richtung des Strahles parallelen, sondern in einer auf dem Lichtstrahle senkrechten Richtung erfolgen.

Das polarisierte Licht kann wieder in gewöhnliches Licht umgewandelt, depolarisiert werden durch Reflexion von rauhen Flächen, z. B. von einer weißen Wand oder weißem Papier, durch den Durchgang durch trübe durchsichtige Medien und durch doppelte Brechung.

Für eine jede Substanz ist der Winkel der vollkommenen Polarisation von dem Brechungsexponenten abhängig. Ein von der Oberfläche eines Körpers zurückgeworfener Lichtstrahl ist nämlich dann vollständig polarisiert, wenn der reflektierte und der gebrochene Strahl aufeinander senkrecht stehen, und wenn folglich auch der Einfalls- und der Brechungswinkel sich zu einem rechten ergänzen. Bezeichnen wir den ersteren mit α, den letzteren mit β und den Brechungsexponenten mit n, so ist bekanntlich

$$\sin \alpha = n \sin \beta.$$

Nach dem soeben angegebenen Gesetze ist aber $\sin \beta = \cos \alpha$, wonach aus der vorstehenden Gleichung folgt

$$\tan \alpha = n.$$

Hat man aus dieser Gleichung den Wert von α für irgend eine Substanz berechnet, so ist der Winkel, welchen der einfallende Strahl mit der reflektierenden Fläche bilden muß, um vollständig polarisiert zu werden, $= 90^0 - \alpha$. Da n für verschiedene Substanzen verschiedene Werte hat, so muß auch der Winkel der vollkommenen Polarisation für dieselben eine verschiedene Größe haben. Ja, dies muß sogar bei der nämlichen Substanz für die verschiedenfarbigen Strahlen der Fall sein, da sich dieselben bekanntlich durch ihre verschiedene Brechbarkeit voneinander unterscheiden. Dies ist einer von den Gründen, warum bei Anwendung weißen Lichtes das Gesichtsfeld im Zerlegungsspiegel niemals vollkommen dunkel erscheint, wenn dieses auch nach der Theorie der Fall sein sollte, wozu noch der Umstand kommt, daß bei allen Spiegeln zu dem regelmäßig reflektierten sich auch unregelmäßig reflektiertes Licht gesellt u. dgl. m.

***§. 214. Doppelte Brechung des Lichtes.** Manche durchsichtige Mineralien, insbesondere der Kalkspat, besitzen die Eigenschaft, bei der Brechung den eintretenden Lichtstrahl in zwei verschiedene Strahlen zu spalten. Legt man einen Kalkspatkrystall auf ein weißes Papier, auf welchem sich ein schwarzer Punkt befindet, so erscheint derselbe doppelt.

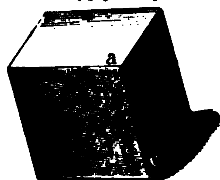
Von den beiden Strahlen, in welche ein Lichtstrahl bei der Brechung im Kalkspate gespalten wird, befolgt der eine (welcher stärker gebrochen wird) das Brechungsgesetz und wird daher der regelmäßig gebrochene genannt. Er liegt nämlich in der Einfallsebene, und zwischen dem Sinus des Einfalls- und des Brechungswinkels findet beständig dasselbe Verhältnis statt. Der andere (schwächer gebrochene) Strahl dagegen befolgt ganz abweichende, eigentümliche Gesetze und heißt der unregelmäßig gebrochene. Beide durch die doppelte Brechung entstehende Strahlen verhalten sich nicht wie gewöhnliches Licht, sondern sind polarisiert und ihre Polarisationsebenen schneiden sich unter rechten Winkeln.

In jedem das Licht doppelt brechenden Körper giebt es eine Richtung, in welcher der regelmäßig und unregelmäßig gebrochene Strahl zusammenfallen, so daß also

ein in dieser Richtung eintretender Strahl nicht gespalten wird. Diese Linie heißt die optische Achse des Krystalls.

Bei dem Kalkspat, welcher sich sehr leicht nach drei Richtungen spalten läßt, fällt die optische Achse in die Richtung der Linie, welche in dem durch Spaltung erhaltenen Rhomboeder die Ecke a (Fig. 286), in welcher drei stumpfe Winkel zusammenstoßen, mit der gegenüberliegenden Ecke verbindet.

(Fig. 286.)



Nach der Vibrationshypothese wird die doppelte Brechung durch die Annahme erklärt, daß in einem das Licht doppelt brechenden Krystalle der Äther nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche Elasticität habe. Wir übergehen jedoch die nähere Entwickelung dieser Theorie und bemerken nur noch, daß senkrecht auf die optische Achse geschnittene Platten von Kalkspat und andere das Licht doppelt brechende Substanzen, stark erhitzte und dann rasch abgekühlte Glasplatten, sehr dünne Blättchen von Gips und Glimmer, welche ebenfalls das Licht doppelt brechen, im polarisierten Lichte sehr schöne Farbenerscheinungen zeigen, welche nach der Vibrationshypothese durch Interferenz der Lichtwellen erklärt werden.

Der Engländer Nicol hat eine Kombination von zwei Kalkspatprismen in der Art hergestellt, daß sie nur dem unregelmäßig gebrochenen Strahle den Durchgang gestattet und einen bequemen Ersatz des Zerlegungsspiegels im Polarisationsapparate gewährt.

Wenn ein polarisierter Lichtstrahl durch eine senkrecht auf die Achse geschnittene Platte von Bergkrystall hindurchgeht, so erleidet die Polarisationsebene eine Drehung, deren Richtung jedoch nicht bei allen Bergkrystallen dieselbe ist; man unterscheidet daher rechts und links drehende Krystalle. Auch andere Substanzen, insbesondere Flüssigkeiten, z. B. Terpentinöl, Zuckersirup, Auflösung von Gummi in Wasser u. a. m., besitzen die nämliche merkwürdige Eigenschaft. Da die Größe der Drehung bei dem Zuckersirup um so beträchtlicher ist, je größer sein Zuckergehalt ist, so kann die Abmessung jener Größe zur Ermittelung der Menge des in dem Sirup enthaltenen Zuckers dienen. Besonders zu diesem Zwecke konstruierte Apparate, welche bei der Zuckerfabrikation nützliche Anwendung finden, führen den Namen Sacharimeter oder Polaristrobometer.

Wir heben noch kurz die folgende merkwürdige Erscheinung hervor. Wenn man einen polarisierten Lichtstrahl durch einen festen oder flüssigen durchsichtigen Körper, wie Glas, Terpentinöl, Wasser u. a. m., welchen man mit einer Drahtspirale umwunden hat, hindurchgehen läßt, so erleidet die Polarisationsebene dieses Lichtstrahles, wenn man durch den Draht einen elektrischen Strom leitet, eine Drehung, deren Größe in gleichem Verhältnisse mit der Stärke des elektrischen Stromes zunimmt. Ähnliches ist der Fall, wenn der durchsichtige Körper zwischen die Pole eines kräftigen Magnets, besonders eines Elektromagnets, so gebracht wird, daß die beide Pole verbindende Linie der Richtung des polarisierten Strahles parallel ist.

H. Von den optischen Instrumenten*), vom Auge und vom Sehen.

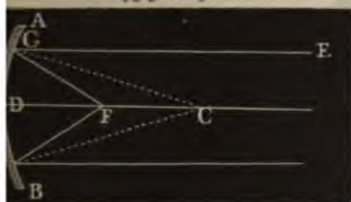
§. 215, a. Gekrümmte Spiegel. Wir beschränken uns hauptsächlich auf die Betrachtung sphärischer Spiegel, d. h. solcher spiegelnden Flächen, welche einen

*) Auch im vorhergehenden ist schon von verschiedenen optischen Instrumenten die Rede gewesen. Dieselben dienten, wie z. B. das Prisma, zur Erforschung besonderer Eigenschaften des Lichtes. Diejenigen optischen Instrumente, von denen in den folgenden Paragraphen gehandelt wird, lehren uns keine neuen Eigenschaften des Lichtes sondern merkwürdige und nützliche Anwendungen der im vorhergehenden entwickelten allger

einer Kugelfläche ausmachen. Wir unterscheiden **konkave** oder **Hohlspiegel** **konvexe Spiegel**, je nachdem die hohle oder erhabene Seite derselben poliert nd handeln nur von den konkaven Spiegeln ausführlicher, da die konvexen el wenig Anwendung finden.

Es sei AB (Fig. 287) der Durchschnitt eines **Hohlspiegels** und C der **Mittel**t **der Krümmung** d. h. der Mittelpunkt der Kugelfläche, von welcher der Spiegel ein Teil ist. Dann heißt der Mittelpunkt D der spiegelnden Fläche der **optische Mittelpunkt** und die Linie CD, welche diesen Punkt mit dem Krümmungsmittelpunkt verbindet, die **Achse** des Spiegels. Ein in der Richtung der Achse CD einfallender Strahl trifft offenbar senkrecht auf die Oberfläche des Spiegels und wird daher in sich selbst zurück-fen. Dasselbe gilt ebenso von jedem durch den Mittelpunkt der Krümmung C den Strahle CG. Man nennt einen solchen Strahl einen **Hauptstrahl**.

(Fig. 287.)



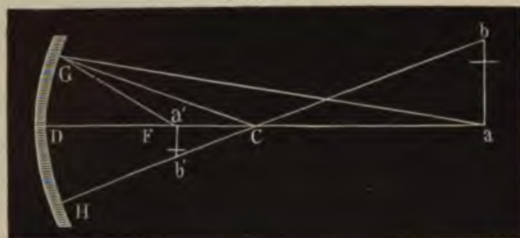
Betrachten wir weiter einen mit der Achse parallel einfallenden Strahl EG. wir den Radius CG ziehen, so steht dieser auf der durch G gehenden Tangente cht und stellt folglich das Einfallslot vor; wenn wir daher Winkel CGF = CGE n, so ist FG der reflektierte Strahl. — Da EG parallel CD ist, so ist Winkel = CGE = CGF, folglich auch CF = FG. — Bei allen Hohlspiegeln, welche tischen Zwecken gebraucht werden, umfaßt die **Öffnung** des **Spiegels**, der Bogen AB, nur wenige Grade; es kann daher auch Bogen DG nur e Grade betragen. Dies vorausgesetzt, können wir ohne erheblichen Fehler nit FD vertauschen und also FD = FC setzen. Der mit der Achse parallel lende Strahl EG wird also von dem Hohlspiegel so zurückgeworfen, daß der ierte Strahl die Achse in der Mitte zwischen dem Spiegel und dem Mittele durchschneidet. Aus gleichen Gründen, wie wir soeben für den Strahl EG kelt haben, müssen auch alle anderen mit der Achse parallel einfallenden Strahlen ber Zurückwerfung durch den Punkt F gehen. Wir können daher überhaupt den Hohlspiegel folgenden allgemeinen Satz aufstellen:

1) **Strahlen, welche parallel mit der Achse auf den Hohlspiegel n, vereinigen sich nach der Reflexion in einem Punkte der Achse, her der Brennpunkt genannt wird; der Abstand desselben vom gel ist dem halben Radius gleich und heißt die Brennweite.** Hieraus umgekehrt:

2) **Strahlen, welche vom Brennpunkte aus auf den Hohlspiegel n, werden mit der Achse parallel zurückgeworfen.** — Denn wenn FG nfallende Strahl ist, so ist der zurückgeworfene Strahl offenbar GE, also mit lchse parallel.

Es sei ferner a (Fig. 288) ein leuchtender Punkt in der Achse. Der durch den Mittelpunkt gehende Strahl aD wird in sich selbst zurückgeworfen, ein anderer von a ausgehender Strahl treffe den Spiegel in G; dann ist CG das Einfallslot und folglich, wenn wir Winkel a'GC = aGC machen, a'G der zurückgeworfene Strahl. Da der Winkel aGC offenbar kleiner als der Winkel ist, welchen ein mit der Achse parallel einfallender Strahl im Punkte G mit CG bilden würde, so muß auch der reflektierte Strahl a'G einen kleineren Winkel mit dem Einfallslote CG bilden als die nach dem Brennpunkte gehende Linie FG; es muß daher der vom Punkte a ausgehende Strahl nach der Reflexion die Achse in einem zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte liegenden Punkte a' schneiden. Durch eine der vorher für parallele Strahlen angewendeten ähnliche Überlegung läßt sich zeigen, daß auch alle anderen von a ausgehenden Strahlen nach der Reflexion die Achse sehr nahe in dem nämlichen Punkte a' schneiden. Ein in der Richtung dieser Strahlen befindliches Auge wird daher von denselben ganz so getroffen, als wenn dieselben von dem Punkte a' ausgegangen wären, und muß folglich in a' ein Bild des leuchtenden Punktes a erblicken.

(Fig. 288.)



Es sei ferner b ein leuchtender Punkt außerhalb der Achse; dann wird der von demselben ausgehende Hauptstrahl bH in sich selbst zurückgeworfen; und aus den nämlichen Gründen, welche für den Punkt a gelten, durchschneiden die von dem leuchtenden Punkte b aus auf den Spiegel fallenden Strahlen nach der Reflexion den Hauptstrahl bH in ein und demselben Punkte, als welchen wir b'*) annehmen wollen. Wenn nun die Punkte a und b ungefähr gleichen Abstand vom Spiegel haben, so wird dasselbe auch von den Bildern derselben a' und b' gelten; und wenn ab einen leuchtenden Gegenstand vorstellt, so werden offenbar die Bilder aller zwischen a und b liegenden Punkte zwischen a' und b' fallen. Ein in der Richtung der reflektierten Strahlen befindliches Auge wird daher in a'b' ein Bild des leuchtenden Gegenstandes ab erblicken. (Dieses Bild wird nach allen Seiten hin sichtbar, wenn man es mit einem schmalen Streifen feinen Papiers oder mit einer schmalen mattgeschliffenen Glasscheibe auffängt.) Wir können daher weiter über den Hohlspiegel folgende Sätze aufführen:

3) **Von einem jenseits des Mittelpunktes befindlichen Gegenstande** ab (Fig. 288) **entsteht zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte ein verkleinertes und verkehrtes Bild** a'b'.

4) **Ist der Gegenstand von dem Spiegel sehr weit entfernt, so fällt das Bild ganz nahe an den Brennpunkt.** — Denn je weiter der Punkt a

*) Man kann die genaue Lage des Punktes b' sehr leicht durch eine einfache geometrische Konstruktion erhalten, wenn man durch [illegible] parallelen Strahl zieht, welcher nach Nr. 1 *in einer durch* den Brennpunkt F geh[illegible]worfen wird und bH in b' durchschneidet.

hinausrückt, um so mehr nähert sich der Strahl aG einer der Achse parallelen Lage; um so mehr muß folglich auch der Winkel CGa' sich dem Winkel CGF und der Punkt a' sich dem Punkte F nähern.

5) Nähert sich der Gegenstand dem Mittelpunkte, so bewegt sich auch das Bild vom Brennpunkte nach dem Mittelpunkte hin. — Denn wenn der Punkt a näher an C rückt, so nimmt Winkel CGa, also auch Winkel CGa' ab.

6) Tritt der Gegenstand in den Mittelpunkt, so fällt das Bild ebenfalls in den Mittelpunkt. — Denn die vom Mittelpunkte ausgehenden Strahlen werden in sich selbst zurückgeworfen.

7) Befindet sich der Gegenstand zwischen dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte, so fällt das Bild über den Mittelpunkt hinaus, ist vergrößert und umgekehrt. — Denn so wie wir in Nr. 3 gezeigt haben, daß a'b' das Bild eines leuchtenden Gegenstandes ab darstellt, so muß auch umgekehrt, wenn a'b' einen leuchtenden Gegenstand vorstellt, ab das Bild desselben sein.

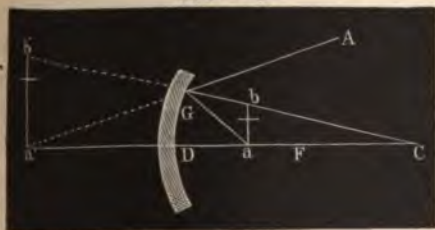
So kann man z. B. leicht von einer von dem Mittelpunkte und dem Brennpunkte eines Hohlspiegels in richtiger Entfernung aufgestellten Lichtflamme an der gegenüberliegenden Wand des Zimmers ein verkehrtes und vergrößertes Bild erzeugen.

8) Das Bild ist um so weiter vom Spiegel entfernt und um so größer, je mehr sich der Gegenstand dem Brennpunkte nähert.

9) Befindet sich der Gegenstand im Brennpunkte, so entsteht gar kein Bild; die auf den Spiegel fallenden Strahlen werden durch die Zurückwerfung nicht mehr wie in den vorhergehenden Fällen konvergent, sondern parallel.

*§. 215, b. **Fortsetzung.** Wir haben nun noch den Fall zu untersuchen, wenn ein leuchtender Gegenstand sich zwischen dem Spiegel und dem Brennpunkte befindet. Betrachten wir zunächst einen leuchtenden Punkt a in der Achse (Fig. 289). Der von demselben ausgehende Hauptstrahl aD wird in sich selbst zurückgeworfen; ein anderer von a auf den Spiegel fallender Strahl treffe denselben in G. Da der Winkel aGC größer ist als der Winkel, welchen die vom Brennpunkte F ausgehende Linie FG mit dem Einfallslote bildet, so muß auch der reflektierte Strahl AG von CG um mehr als eine durch den Punkt G mit der Achse parallel gezogene Linie abweichen. Derselbe muß daher mit der Achse divergieren und rückwärts verlängert, die Verlängerung der Achse in irgend einem Punkte a' schneiden. Sehr nahe in demselben Punkte a' durchschneiden auch die Verlängerungen aller anderen von a auf den Spiegel fallenden und von demselben zurückgeworfenen Strahlen die verlängerte Achse. Ein vor dem Spiegel befindliches Auge muß daher in a' ein Bild des leuchtenden Punktes a erblicken. Ebenso entsteht von einem außerhalb der Achse befindlichen Punkte b in

(Fig. 289.)



der verlängerten Richtung des Hauptstrahles bC ein Bild in b'*) und von einem ganzen Gegenstande ab das Bild a'b'. Wir erhalten daher über den Hohlspiegel noch folgenden Satz:

10) **Von einem innerhalb der Brennweite befindlichen Gegenstande ab entsteht hinter dem Spiegel ein aufrechtes und vergrößertes Bild a'b', welches um so größer ist und um so weiter hinter den Spiegel fällt, je näher sich der Gegenstand ab am Brennpunkte befindet.** — Wenn man sich so nahe vor einen Hohlspiegel stellt, daß der Abstand des Spiegels vom Gesicht kleiner ist als die Brennweite, so sieht man sein eigenes Bild im Spiegel aufrecht und vergrößert.

In dem zuletzt besprochenen Falle schneiden sich die vom Hohlspiegel zurückgeworfenen Strahlen nicht selbst, sondern in ihren Verlängerungen. Man nennt das auf diese Art entstehende Bild ein geometrisches (auch virtuelles), dagegen die unter Nr. 3 und 7 besprochenen Bilder, bei denen sich die reflektierten Strahlen selbst durchschneiden, und die sich daher auch auffangen und nach allen Seiten hin sichtbar machen lassen, reelle. — Die im Planspiegel entstehenden Bilder gehören zu den geometrischen, da sich bei denselben die reflektierten Strahlen nicht selbst, sondern in ihren Verlängerungen durchschneiden.

Da sich die Hohlspiegel zur Erzeugung hoher Hitzegrade benutzen lassen, so giebt man denselben auch den Namen Brennspiegel. Wenn nämlich auf einen Hohlspiegel die Sonnenstrahlen parallel mit der Achse fallen, so werden dieselben nach dem Brennpunkte hin konvergent zurückgeworfen und erzeugen ein verkleinertes Bild der Sonne. Indem sie so in einen engen Raum konzentriert werden, bewirken sie hier eine große Hitze, worauf sich der Name Brennpunkt bezieht. Man benutzt die Hohlspiegel bei Fernröhren (§. 227) und als Reverberen bei der Beleuchtung.

So wie die auf einen Hohlspiegel parallel mit der Achse auffallenden Strahlen durch die Zurückwerfung konvergent werden, so werden dagegen bei einem Konvexspiegel die mit der Achse parallel auffallenden Strahlen durch die Zurückwerfung divergent; ihre Verlängerungen schneiden sich in einem Punkte, welcher in der Entfernung des halben Radius hinter dem Spiegel liegt und der geometrische Brennpunkt desselben genannt wird. Durch eine Betrachtung, welche der über Hohlspiegel angestellten ganz ähnlich ist, läßt sich zeigen, daß die Bilder aller vor dem Konvexspiegel liegenden Gegenstände hinter denselben, zwischen Spiegel und Brennpunkt, fallen und aufrecht und verkleinert sind, wie man dies häufig an den in Gärten aufgestellten gläsernen, inwendig geschwärzten Kugeln zu beobachten Gelegenheit hat.

In cylinderförmigen konvexen Spiegeln haben die Bilder in der mit der Achse parallelen Richtung die natürliche Länge, sind aber in der darauf senkrechten

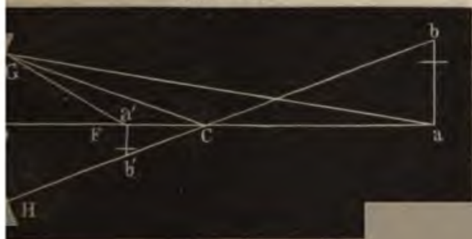
---

*) Auch hier bestimmen wir den Punkt b' indem wir von b aus einen Strahl parallel der Achse konstruieren, welcher reflektiert durch b ... echt, und diese letztere Richtung soweit *rückwärts* verlängern, bis sie die verlän

ng verkürzt. Bei kegelförmigen Spiegeln ist diese Verschmälerung nach der hin beträchtlicher als in der Nähe der Grundfläche u. s. w.

Sämtliche in den beiden vorhergehenden Paragraphen über die Lage des Objektes und Bildes llten Sätze lassen sich unter folgenden einheitlichen Gesichtspunkt zusammenfassen. Ist a ein leuchtender Punkt in der Achse (Fig. 290), C der Krümmungsmittelpunkt, aGC der Einfalls-, a'GC der Reflexionswinkel, so können wir, da W. aGC = a'GC ist, (nach §. 186 der Planim.) die Proportion aufstellen:

(Fig. 290.)



1) $aC : a'C = aG : a'G.$

Umfaßt die Öffnung des Spiegels nur wenige Grade, so können wir ferner in dieser Proportion ohne erheblichen Fehler aG mit aD und a'G mit a'D ben, wodurch die Proportion (1) übergeht in

2) $aC : a'C = aD : a'D.$

en wir nun der Kürze wegen die Entfernung aD des leuchtenden Punktes a vom optischen unkte D, die Objektweite, mit a, die Entfernung des Bildes a' von demselben Punkte, die eite, mit α und den Radius CD des Hohlspiegels mit r, so verwandelt sich Proportion (2) in:

3) $a - r : r - \alpha = a : \alpha;$

ist $a\alpha - \alpha r = ar - a\alpha,$

$2a\alpha = ar + \alpha r$

enn wir beiderseits durch $a\alpha r$ dividieren,

4) $\frac{2}{r} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a}.$

n dieser Gleichung $a = \infty$ gesetzt, d. h. laufen die Strahlen der Achse parallel, so wird), also $\frac{1}{\alpha} = \frac{2}{r}$ oder $\alpha = \frac{r}{2}$. Die der Achse parallelen Strahlen schneiden dieselbe also in einem welcher vom optischen Mittelpunkte und Kugelmittelpunkte gleich weit entfernt ist. Bezeichnen Abstand dieses Punktes vom optischen Mittelpunkte, die Brennweite, mit f (focus), so ist , mithin $\frac{2}{r} = \frac{1}{f}$ und Gleichung (4) geht über in

5) $\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{f}$

Worten ausgedrückt: der reciproke Wert der Brennweite ist gleich der Summe aus ciproken Werten von Objekt- und Bildweite.

Vermittelst dieser Gleichung läßt sich, wenn von den drei Größen a, α, f zwei gegeben sind, te mit Leichtigkeit finden. So ist z. B. für

$a = 1000f,\quad \alpha = 1^1/_{999}f$

$a = 100f,\quad \alpha = 1^1/_{99}f$

$a = 10f,\quad \alpha = 1^1/_9f$

$a = 0{,}9f,\quad \alpha = -9f$

$a = 0{,}5f\quad \alpha = -f$

$a = 0{,}1f,\quad \alpha = -{}^1/_9f$ u. dgl. m.

eht aus dieser Zusammenstellung unter anderem, daß für einen Gegenstand, dessen Entfernung rennpunkte der tausend- oder hundertfachen Brennweite gleich ist, das Bild nur um $^1/_{999}$ oder

um $1/_{99}$ dieser Größe vom Brennpunkte absteht, daß also die Bilder aller von dem Spiegel um die vielfache Brennweite abstehenden Gegenstände sehr nahe an den Brennpunkt fallen, woraus sich ein bequemes Mittel ergiebt, die Brennweite mit einer für die meisten Fälle hinreichenden Genauigkeit zu bestimmen. Man hat nämlich nur nötig, den Spiegel einem um die mehrfache Brennweite entfernten Fenster gegenüber zu halten und einen das Bild des Fensters auffangenden schmalen Schirm so lange zu nähern oder zu entfernen, bis dieses Bild möglichst deutlich erscheint. Die Entfernung des Schirmes vom Spiegel giebt dann die Brennweite nahezu richtig an. Ebenso lassen sich durch Diskussion dieser Gleichung (5) sämtliche oben einzeln aufgeführten Gesetze auf einfache Weise ableiten und mögen, um dieses zu zeigen, die Hauptfälle noch einmal kurz zusammengestellt werden:

1) Wird a kleiner, so wird der Bruch $\frac{1}{a}$ größer, folglich $\frac{1}{\alpha}$ kleiner, mithin α größer; einer Verkleinerung der Objektweite entspricht also eine Vergrößerung der Bildweite und umgekehrt;

2) ist $a < \infty$, aber $> 2f$, so ist $\alpha > f$, aber $< 2f$, denn wenn $a > 2f$, so ist $\frac{1}{a} < \frac{1}{2f}$, mithin, da $\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{2}{2f}$, $\frac{1}{\alpha} > \frac{1}{2f}$, folglich $\alpha < 2f$;

3) ist $a = 2f$, so ist auch $\alpha = 2f$;

4) ist $a < 2f$, aber $> f$, so ist $\alpha > 2f$, aber $< \infty$ (folgt auf dieselbe Weise, wie 2);

5) ist $a = f$, so ist $\frac{1}{\alpha} = 0$, mithin $\alpha = \infty$;

6) ist $a < f$, so ist $\frac{1}{a} > \frac{1}{f}$, mithin α negativ; das Bild fällt hinter den Spiegel.

Die angeführten Hauptfälle noch einmal in Worte zu kleiden, erscheint überflüssig, da dieselben oben unter 3, 4, 6, 7, 9, 10 bereits ihre präcise Fassung gefunden haben.

In ähnlicher Weise läßt sich für den Konvexspiegel die Gleichung herleiten:

$$\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{a} = \frac{2}{r},$$

eine Gleichung, in welcher a, α und r dieselbe Bedeutung haben, wie für den Hohlspiegel.

Übrigens erinnern wir noch einmal daran, daß die oben aufgestellte Gleichung (5) nur für die Strahlen gilt, welche in der Nähe des optischen Mittelpunktes auffallen; ja streng genommen werden nur die vom Kugelmittelpunkte ausgehenden Strahlen nach der Reflexion genau wieder in einem Punkte, nämlich im Mittelpunkte, vereinigt. Bei einem elliptischen Hohlspiegel würden die von dem einen Brennpunkte ausgehenden Strahlen sich nach der Reflexion genau in dem andern Brennpunkte, bei einem parabolischen die parallel mit der Achse auf den Spiegel fallenden Strahlen in dem Brennpunkte der Parabel durchschneiden.*) In allen anderen Fällen findet weder bei diesen noch bei dem sphärischen Spiegel nach der Reflexion eine genaue Vereinigung der von einem Punkte ausgegangenen Strahlen in einen Punkt statt.

Wenn wir den geradlinigen Durchmesser eines Hohlspiegels mit D, den Durchmesser des Brennraumes, in welchem die Sonnenstrahlen konzentriert werden, mit d bezeichnen, so ist die Verdichtung derselben offenbar $= \frac{D^2}{d^2}$, wenn der Spiegel alle auffallenden Strahlen reflektiert, was jedoch in der Wirklichkeit niemals stattfindet. Die Menge der reflektierten Strahlen beträgt selbst bei den besten Hohlspiegeln kaum $^2/_3$ der auffallenden. Ist ab (Fig. 290) der Halbmesser der Sonne, a'b' der Halbmesser des Brennraumes, so ist Winkel $aCb = a'Cb' = 16'$ ungefähr, also $a'b' = a'C \,.\, \text{tang}\, a'Cb' = a'C \,.\, \text{tang}\, 16'$. — Wegen der sehr großen Entfernung der Sonne ist a'C gleich der Brennweite, welche wir mit f bezeichnen wollen, zu setzen, also der Durchmesser des Brennraumes

$$= 2f \,\text{tang}\, 16' = 2f \times 0{,}00465 = \frac{2f}{216} = \frac{f}{108},$$

*) Kegelschnitte §. 39 u. 66.

nn wir von dem mit der Reflexion verbundenen Verluste an Lichtstrahlen absehen, die der Sonnenstrahlen im Brennraume

$$= \frac{D^2}{(\frac{1}{108} f)^2} = \frac{(108D)^2}{f^2};$$

ilso dem Quadrate des Durchmessers des Spiegels direkt und dem Quadrate der Brennweite roportional.

be Formel gilt auch für die Brenngläser, von denen im folgenden Paragraphen die Rede ist.

16, a. **Linsen.** Linsen sind Körper, welche von zwei Kugelflächen oder Kugelfläche und von einer Ebene (von einer mit einem unendlich großen :schriebenen Kugelfläche), begrenzt werden. Wir beschäftigen uns hier mit den Erscheinungen, welche durch die Brechung des Lichtes in durchsichtigen Linsen hervorgerufen werden. In dieser Hinsicht zerfallen dieselben in Sammellinsen (Fig. 291) a, a′ und a″ und Zerstreuungslinsen b, b′ und b″. Die ersteren sind in der Mitte dicker als am Rande und machen, wie wir sogleich sehen werden, parallele Strahlen konvergent; die letzteren dagegen sind am Rande dicker als in der Mitte und machen parallele Strahlen divergent. Die Sammellinsen zerfallen wieder in bikonvexe (a), plankonvexe (a′) und konkavkonvexe (a″); die Zerstreuungslinsen können sein bikonkav (b), av (b′) und konvexkonkav (b″). Bei einer konvexkonkaven Linse (b″) die konkave Krümmung; d. h. der Radius der konkaven Seite ist kleiner Radius der konvexen Seite. Bei der konkavkonvexen (a″) findet das e statt.

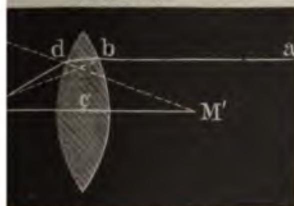
(Fig. 291.)



Linie, welche durch die Mittelpunkte der beiden Krümmungen einer Linse auf beiden Grenzflächen senkrecht steht, heißt die Achse der Linse; und Centrum wird der Punkt in der Achse genannt, welcher in der Mitte beiden Grenzflächen liegt.*)

betrachten zuerst die Erscheinungen, welche durch die Brechung des Lichtes ellinsen hervorgerufen werden, und legen hierbei die bikonvexe Linse zu Grunde, da die Erscheinungen, welche die plankonvexe und die konkavkonvexe Linse darbieten, im wesentlichen dieselben sind.

(Fig. 292.)

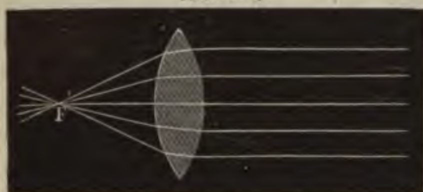


Es seien M und M′ (Fig. 292) die Krümmungsmittelpunkte und C das optische Centrum einer bikonvexen Sammellinse. Nehmen wir zunächst an, daß auf dieselbe ein Lichtstrahl ab in einer zur Achse MM′ parallelen Richtung wird derselbe bei seinem Eintritte in die Linse, da er aus Luft in Glas zum Einfallslote Mb, angenommen in die Richtung bd, bei seinem Aus-

*) igentlich der innere Ähnlichkeitspunkt der beiden Kugelflächen, indem jede durch diesen ie die beiden *Kugelflächen* unter gleichen Neigungswinkeln durchschneidet (Planim. §. 247).

tritte aus der Linse aber, da er jetzt aus dem Glase in die Luft übergeht, vom Einfallslote M'dc, angenommen in die Richtung dF, gebrochen, so daß er die Achse in einem Punkte F durchschneidet. Auch alle anderen parallel mit der Achse auf die Linse fallenden Strahlen, welche dieselbe in keinem zu großen Abstande von der Achse treffen, schneiden nach der Brechung durch die Linse, wie theoretische Betrachtungen lehren und auch die Erfahrung bestätigt, die Achse, wenn auch nicht genau, doch sehr nahe in dem nämlichen Punkte F (Fig. 293). Dieser Punkt wird der **Brennpunkt** der Linse genannt.

(Fig. 293.)



Umgekehrt geht hieraus hervor, daß wenn sich in dem Brennpunkte F ein leuchtender Punkt befindet, die von demselben ausgehenden und auf die Linse divergent fallenden Strahlen durch dieselbe so gebrochen werden, daß die austretenden Strahlen eine der Achse parallele Richtung haben.

Überhaupt können wir über die Brechung der Lichtstrahlen durch eine Sammellinse folgende Sätze aufstellen: **Parallele Strahlen werden durch die Linse konvergent; schwächer divergierende Strahlen, als wie sie vom Brennpunkte aus auf die Linse treffen, werden durch dieselbe ebenfalls** (aber in geringerem Maße als im vorhergehenden Falle) **konvergent; mit der nämlichen Divergenz, wie vom Brennpunkte aus, auf die Linse fallende Strahlen macht die Linse parallel und stärker divergierende Strahlen bleiben auch nach der Brechung durch die Linse divergent, aber ihre Divergenz wird geschwächt.** Fallen aber auf eine Linse Strahlen, welche schon konvergent sind, so wird ihre Konvergenz durch die Linse noch verstärkt.

Nehmen wir zunächst an, in der Achse einer Linse befinde sich ein leuchtender Punkt a (Fig. 294) in etwas größerem Abstande von derselben als der Brennpunkt F,

(Fig. 294.)



so haben die von dem Punkte a auf die Linse fallenden Strahlen offenbar eine etwas schwächere Divergenz als Strahlen, welche vom Brennpunkte F ausgehen. Dieselben werden daher durch die Linse konvergent, und die austretenden Strahlen schneiden demzufolge die Achse in einem an der andern Seite der Linse liegenden Punkte a'. Ein in der verlängerten Richtung dieser Strahlen befindliches Auge erblickt daher *in a' ein* Bild des leuchtenden

tfernt sich der leuchtende Punkt a (Fig. 295) von der Linse, so fallen die von n ausgehenden Strahlen jetzt mit schwächerer Divergenz auf die Linse; sie

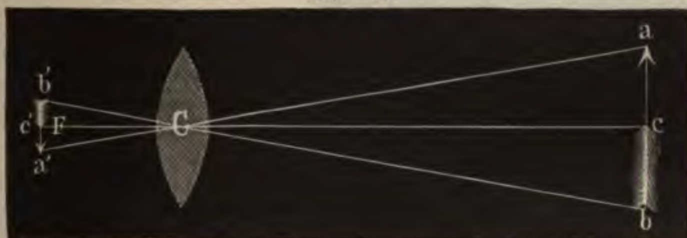
(Fig. 295.)



aher stärker konvergent als vorhin aus derselben aus, und ihr Vereinigungs- kommt in geringere Entfernung hinter den Brennpunkt F' zu liegen.

rch die soeben angestellten Betrachtungen werden wir in den Stand gesetzt, : und Beschaffenheit des Bildes näher zu bestimmen, welches eine Linse von anzen in der Richtung der Achse, aber außerhalb der Brennweite liegenden inde ab (Fig. 296) erzeugt. Die von dem in der Achse befindlichen Punkte c iden Strahlen werden, wie wir gesehen haben, durch die Linse so gebrochen,

(Fig. 296.)



die Achse in einem jenseits des Brennpunktes F liegenden Punkte c' durch- i. Ziehen wir ferner von dem außerhalb der Achse liegenden Punkte a eine irch das optische Centrum C, so wird ein in der Richtung dieser Linie ein- : Strahl auch sehr nahe in der nämlichen Richtung aus der Linse austreten, den beiden gegenüber liegenden Stellen, wo er die Grenzflächen der Linse neidet, dieselben einander nahezu parallel sind. So wie nun die von dem in se liegenden Punkte c ausgehenden Strahlen sich nach der Brechung in dem c' der Achse vereinigen, so vereinigen sich die von a ausgehenden Strahlen : Brechung in einem Punkte a', welcher in der Verlängerung der durch das Centrum gezogenen Linie aC liegt;*) und ebenso fällt der Vereinigungspunkt i dem Punkte b ausgehenden und durch die Linse gebrochenen Strahlen i auf der Verlängerung der Linie bC liegenden Punkt b'. Da nun die gungspunkte der von leuchtenden Punkten zwischen a und b ausgehenden n offenbar zwischen die Punkte a' und b' zu liegen kommen, so setzen dieselben

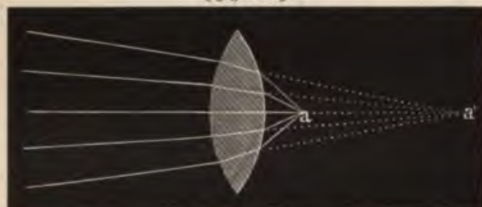
Man kann die genaue Lage des Punktes a' leicht durch geometrische Konstruktion erhalten, an zunächst von a aus den durch das optische Centrum gehenden Strahl und ferner den Achse parallelen Strahl zeichnet, welcher in einer durch den Brennpunkt F gehenden Richtung wird. Dieser letztere Strahl schneidet den ersteren in a'.

in a′b′ ein umgekehrtes und verkleinertes Bild des leuchtenden Gegenstandes ab zusammen, welches nach allen Seiten hin sichtbar wird, wenn man dasselbe mit einem weißen Schirme auffängt. — So läßt sich z. B. bekanntlich in einem Zimmer auf einer einem Fenster gegenüberliegenden weißen Wand mit Hilfe einer Sammellinse sehr leicht ein umgekehrtes und verkleinertes Bild des Fensters erzeugen.

Wenn wir uns a′b′ (Fig. 296) als einen leuchtenden Gegenstand denken, so werden die von a′ und b′ auf die Linse fallenden Strahlen nach der Brechung sich offenbar in den Punkten a und b vereinigen, und von dem Gegenstande a′b′ wird jetzt ein Bild in ab entstehen. Man erhält ein solches umgekehrtes und vergrößertes Bild sehr leicht, wenn man einer Linse eine Lichtflamme in einem übrigens dunklen Zimmer allmählich nähert, bis das vergrößerte und verkehrte Bild derselben deutlich an einer gegenüberliegenden entfernten Wand des Zimmers erscheint.

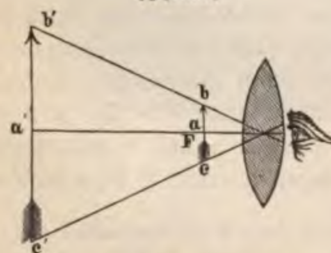
Wir haben nun noch den Fall zu erörtern, wenn sich ein leuchtender Punkt a (Fig. 297) innerhalb der Brennweite der Linse befindet. Da die von demselben ausgehenden Strahlen mit stärkerer Divergenz als Strahlen, welche vom Brennpunkte kommen, auf die Linse fallen, so treten sie auch nach der Brechung divergent, aber mit geschwächter Divergenz aus der Linse aus, so daß ihre rückwärts fortgesetzten Verlängerungen die Achse in einem weiter von der Linse entfernten Punkte a′ durchschneiden. Ein an der andern Seite der Linse in der Richtung der austretenden Strahlen befindliches Auge erblickt daher den leuchtenden Punkt nicht in a, sondern weiter entfernt von der Linse in a′. Da sich in dem Punkte a′ nicht die durch die Linse gebrochenen Strahlen selbst, sondern nur ihre Verlängerungen durchschneiden, so entsteht hier nicht, wie in den vorher betrachteten Fällen, ein wirkliches, reelles Bild des leuchtenden Punktes, welches sich mit einem Schirme auffangen ließe, sondern nur ein sogenanntes geometrisches Bild.

(Fig. 297.)



Betrachten wir ferner einen ganzen Gegenstand bc (Fig. 298), wenn derselbe einen kleineren Abstand als der Brennpunkt F von der Linse hat. Das an der andern Seite der Linse befindliche Auge sieht, wie wir soeben gezeigt haben, von dem in der Achse liegenden Punkte a in größerer Entfernung von der Linse ein Bild in a′, und ebenso erblickt dieses Auge von den Punkten b und c in der Richtung der durch diese Punkte und das optische Centrum gezogenen Linien Bilder in b′ und c′, welche von der Linse weiter als die Punkte b und c abstehen. Da nun Ähnliches offenbar von allen andern Punkten des Gegenstandes bc gilt, so erscheint derselbe dem Auge, durch die Linse gesehen, in b′c′, also weiter hinausgerückt, aufrecht und vergrößert.

(Fig. 298.)



Wenn man z. B. einer Sammellinse eine Schrift so nahe gegenüber hält, daß dieselbe sich innerhalb der Brennweite befindet, so sieht ein in der Richtung der austretenden Strahlen befindliches Auge die Schrift vergrößert und aufrecht. Ebenso beruht auf dem eben Gesagten der sogenannte optische Kasten (Guckkasten, Panorama), bei welchem perspektivische Zeichnungen nahe am Brennpunkte einer Linse von etwa $^1/_2$ m Brennweite aufgestellt sind und daher, durch die Linse gesehen, aufrecht und vergrößert erscheinen.

Bei der großen Wichtigkeit der im vorhergehenden gewonnenen Resultate und der Unentbehrlichkeit derselben für das richtige Verständnis aller im folgenden noch anzuführenden optischen Apparate stellen wir dieselben hier nochmals übersichtlich zusammen:

1) Unter dem Brennpunkte einer Linse versteht man denjenigen Punkt, in welchem mit der Achse parallel auffallende Strahlen nach der Brechung sich vereinigen.

2) Von einem außerhalb der Brennweite sich befindenden Gegenstand erzeugt die Linse ein reelles und umgekehrtes Bild.

Ist der Gegenstand von der Linse sehr weit entfernt, so kommt das Bild nahe an den Brennpunkt zu liegen und ist verkleinert. — Befindet sich dagegen der Gegenstand nahe am Brennpunkte, (jedoch außerhalb der Brennweite), so fällt das Bild in eine sehr weite Entfernung hinaus und ist vergrößert.

3) Tritt der Gegenstand in den Brennpunkt, so entsteht gar kein Bild.

4) Befindet sich der Gegenstand innerhalb der Brennweite, so erblickt ein an der anderen Seite der Linse in der Richtung der austretenden Strahlen befindliches Auge ein geometrisches aufrechtes Bild desselben, welches weiter als der Gegenstand von der Linse entfernt und vergrößert ist.

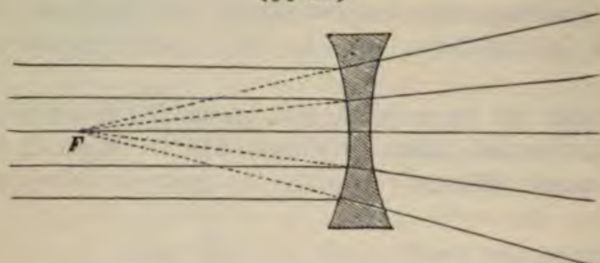
Die hier über die Sammellinse aufgeführten Regeln stimmen mit den oben (§. 215, a) über den Hohlspiegel angegebenen so vollständig überein, daß dieselben richtig bleiben, wenn man statt Linse Spiegel setzt.

Früher bediente man sich der Sammellinsen auch als Brenngläser (vergl. die Anm. zum vorherg. §.); von den sehr mannigfaltigen und wichtigen Anwendungen derselben für optische Zwecke werden die folgenden Paragraphen zahlreiche Beispiele geben.

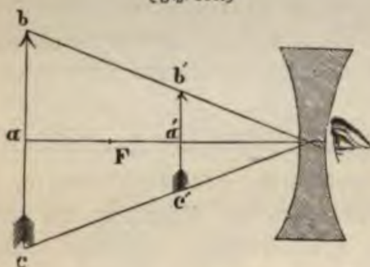
§. 216, b. Fortsetzung. Wir handeln nur kurz von den Zerstreuungslinsen, da dieselben teils weit weniger Anwendung finden als die Sammellinsen, teils das im vorhergehenden über diese Gesagte sich leicht auf jene übertragen läßt. Da die Konstruktion einer Zerstreuungslinse gerade die entgegengesetzte der Sammellinse ist, so muß dieselbe auch die umgekehrte Wirkung hervorbringen. Während also eine Sammellinse parallel oder schwach divergente Strahlen konvergent macht und bei sehr stark divergenten Strahlen, welche sie nicht konvergent zu machen vermag, die Divergenz schwächt, werden durch die Brechung in einer Zerstreuungslinse parallele Strahlen divergent und divergente Strahlen noch stärker divergent.

Der Punkt F (Fig. 299), in welchem sich die rückwärts fortgesetzten Verlängerungen parallel mit der Achse auf die Linse fallender Strahlen nach der Brechung vereinigen, wird der geometrische Brennpunkt genannt. — Da divergent auf die Zerstreuungslinse fallende Strahlen auch nach der Brechung divergent bleiben, so kann eine Zerstreuungslinse von leuchtenden Gegenständen niemals reelle, sondern nur geometrische Bilder geben, und da die Zerstreuungslinse die Divergenz verstärkt, so müssen diese Bilder näher bei der Linse liegen und also kleiner sein als der Gegenstand. Ja, sie müssen sämtlich innerhalb der Brennweite liegen, weil divergent auffallende Strahlen aus der Linse offenbar stärker divergent austreten als parallel auffallende. Diese Bilder müssen endlich aufrecht sein, wie sich leicht aus folgendem ergiebt: Ist bc (Fig. 300) ein leuchtender Gegenstand vor der Linse, so erblickt ein an der anderen Seite derselben befindliches Auge von dem Punkte a in der Achse ein innerhalb der Brennweite liegendes Bild in a', und ebenso sieht das Auge von den Punkten b und c außerhalb der Achse Bilder in den Punkten b' und c', welche in die Verbindungslinien der Punkte b und c mit dem optischen Centrum fallen; das Auge sieht daher statt des Gegenstandes bc das geometrische Bild desselben b'c'. — **Durch eine Zerstreuungslinse gesehen, erscheinen folglich alle Gegenstände aufrecht, verkleinert und näher gerückt.***)

(Fig. 299.)

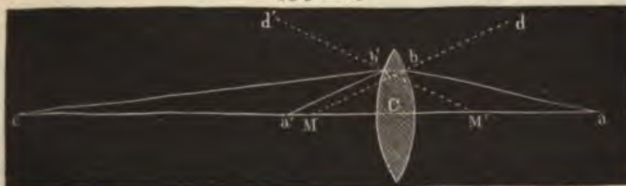


(Fig. 300.)



Es seien M und M' (Fig. 301) die Krümmungsmittelpunkte einer bikonvexen Linse und a ein leuchtender Punkt in der Achse. Ein von a auf die Linse fallender Strahl ab wird, wie schon oben im Haupttexte angegeben, bei seinem Eintritte in die Linse in b zum Einfallslote, angenommen in die Richtung bb', und bei seinem Austritte in b' vom Einfallslote, angenommen in die Richtung b'a' gebrochen. Es fragt sich nun, wie sich, wenn die Krümmungsradien der Linse r und r' und der Brechungsexponent n der Substanz, aus welcher die Linse besteht, bekannt sind, aus der Entfernung des leuchtenden Punktes a von der Linse der Abstand des Punktes a', in welchem der gebrochene Strahl die Achse durchschneidet, berechnen läßt. Ehe wir diese Frage beantworten

(Fig. 301.)



*) Also ganz ähnlich wie die [...]iegel, §. 215, b.

chen wir zunächst die Lage des Punktes c zu bestimmen, in welchem die Verlängerung des innerhalb r Linse fallenden gebrochenen Strahles bb' die Achse durchschneidet. Der einfallende Strahl ab ildet mit dem Einfallslote Mbd den Winkel abd, und der gebrochene Strahl bb'c bildet mit demselben n Winkel Mbc. Nun ist zufolge des Brechungsgesetzes

$$\sin abd : \sin cbM = n : 1$$

der, da der Winkel abM der Nebenwinkel von abd ist, und Nebenwinkel einerlei Sinus haben,

$$1)\ \sin abM : \sin cbM = n : 1.$$

In den Dreiecken abM und cbM verhält sich aber bekanntlich

$$\sin abM : \sin aMb = aM : ab$$

nd

$$\sin cMb : \sin cbM = cb : cM.$$

a $\sin cMB = \sin aMb$ ist, so ergiebt sich, wenn wir die beiden letzten Gleichungen miteinander ultiplizieren,

$$2)\ \sin abM : \sin cbM = aM \,.\, cb : ab \,.\, cM.$$

erbinden wir diese Gleichung mit der Gleichung (1), so erhalten wir

$$aM \,.\, cb : ab \,.\, cM = n : 1$$

er

$$3)\ aM \,.\, cb = n \,.\, ab \,.\, cM.$$

eschränken wir uns auf die Annahme, welche für die meisten Zwecke ausreicht, daß die Linse im ergleich mit dem Abstande des leuchtenden Punktes a von derselben nur eine geringe Dicke hat, und aß der Strahl ab die Linse in nur geringem Abstande von der Achse trifft, so werden wir, wenn ir den Abstand des Punktes a von der Linse mit a, die Entfernung des Punktes c von derselben it c und den Krümmungshalbmesser bM mit r bezeichnen, annähernd

$$aM = a + r,\ cb = c,\ ab = a \text{ und } cM = c - r$$

zen können. Hierdurch verwandelt sich die Gleichung (3) in

$$4)\ (a + r) \,.\, c = n \,.\, a \,.\, (c - r)$$

der

$$cr + nar = nac - ac = (n - 1)\ ac.$$

Dividieren wir diese Gleichung durch das Produkt a . c . r, so geht dieselbe über in

$$5)\ \frac{1}{a} + n \,.\, \frac{1}{c} = (n - 1) \,.\, \frac{1}{r};$$

ne Gleichung, in welcher nur c unbekannt ist.

Nachdem wir so den Abstand des Punktes c von der Linse ermittelt haben, wenden wir uns zu nserer eigentlichen Aufgabe, den Abstand des Punktes a' von der Linse zu finden. Wir bezeichnen esen Abstand mit α und den Krümmungshalbmesser M'b' mit r'. Der innerhalb der Linse liegende trahl bb' bildet mit dem Einfallslote M'b'd' den Winkel M'b'b und der austretende gebrochene trahl a'b' den Winkel a'b'd'. Zufolge des Brechungsgesetzes ist daher

$$\sin a'b'd' : \sin bb'M' = n : 1,$$

er da wir in dieser Proportion statt der Winkel a'b'd' und bb'M' auch ihre Nebenwinkel a'b'M' nd cb'M' setzen können,

$$1.\quad 1)\ \sin a'b'M' : \sin cb'M' = n : 1.$$

un ist aber in den Dreiecken a'b'M' und cb'M'

$$\sin a'b'M' : \sin a'M'b' = a'M' : a'b'$$

nd

$$\sin cM'b' : \sin cb'M' = cb' : cM',$$

lglich, wenn wir diese Gleichungen miteinander multiplizieren,

$$2.\quad 2)\ \sin a'b'M' : \sin cb'M' = a'M' \,.\, cb' : a'b' \,.\, cM'.$$

Aus dieser Gleichung und Gleichung (1. 1) erhalten wir

$$a'M' \,.\, cb' : a'b' \,.\, cM' = n : 1,$$

er

$$3.\quad 3)\ a'M' \,.\, cb' = n \,.\, a'b' \,.\, cM'.$$

un können wir vermöge der angegebenen Gründe annähernd setzen

$$a'M' = \alpha + r',\ cb' = c,\ a'b' = \alpha, \text{ und } cM' = c + r'.$$

ierdurch verwandelt sich die Gleichung (3. 3) in

$$4.\quad 4)\ (\alpha + r') \,.\, c = n \,.\, \alpha \,.\, (c + r')$$

er

$$cr' - nar' = nac - ac = (n - 1)\ \alpha c.$$

Dividieren wir diese Gleichung durch das Produkt $a . c . r'$, so geht dieselbe über in

$$5.\quad 5)\ \frac{1}{a} - n . \frac{1}{c} = (n-1) . \frac{1}{r'}.$$

Addieren wir diese Gleichung zu der oben erhaltenen Gleichung (5), so ergiebt sich

$$6)\ \frac{1}{a} + \frac{1}{\mathfrak{a}} = (n-1) . \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right),$$

aus welcher sich a finden läßt, da in derselben alle anderen Buchstaben Bekanntes oder Gegebenes bezeichnen.

Setzen wir $\mathfrak{a} = \infty$, so wird a der Brennweite f gleich, und die letzte Gleichung verwandelt sich in diesem besonderen Falle in

$$7)\ \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right).$$

Ist die Linse gleichseitig, also $r = r'$, und nehmen wir $n = {}^3/_2$ an, so ist $f = r$; ist die Linse plankonvex, so ist einer der Radien, z. B. r', gleich unendlich zu setzen und daher $f = 2r$ u. dgl. m. — Hat man überhaupt aus der Gleichung (7) f bestimmt, so läßt sich die Gleichung (6) auch kürzer so schreiben:

$$8)\ \frac{1}{f} = \frac{1}{\mathfrak{a}} + \frac{1}{a}.$$

Wir erhalten also für die Sammellinse dieselbe Gleichung wie für den Hohlspiegel, und es müssen daher auch hier die in §. 215, b, Anm. gezogenen Folgerungen gelten. Man wird folglich auch bei der Linse die Brennweite sehr nahe richtig erhalten, wenn man den Abstand mißt, in welchem sich das Bild eines entfernten Gegenstandes in der größten Deutlichkeit zeigt. — Setzen wir in der Gleichung (8) $\mathfrak{a} = 2f$, so wird auch $a = 2f$. Wenn daher ein Gegenstand von der Linse um die doppelte Brennweite entfernt ist, so hat auch das Bild die nämliche Entfernung von der Linse und folglich mit dem Gegenstande gleiche Größe. Solange aber der Gegenstand um mehr als die doppelte Brennweite von der Linse absteht, ist das Bild der Linse näher und folglich kleiner als der Gegenstand; und wenn der Gegenstand um weniger als die doppelte, aber um mehr als die einfache Brennweite von der Linse entfernt ist, so ist das Bild weiter von der Linse entfernt und größer als der Gegenstand. (Auch diese Verhältnisse stimmen ganz mit den in §. 215, b für den Hohlspiegel angegebenen überein, da bei demselben $f = {}^1/_2 r$, also $2f = r$ ist.)

Die Gleichungen (7) und (8) gelten auch für die Zerstreuungslinse (Fig. 299), wenn man in denselben r und r' und folglich auch f negativ setzt. — Die Brennweite einer Zerstreuungslinse kann man empirisch durch folgendes Verfahren ungefähr finden: Wenn man die Strahlen der Sonne auf eine Zerstreuungslinse parallel mit der Achse fallen läßt, so treten dieselben divergent aus der Linse so aus, daß ihre rückwärts fortgesetzten Verlängerungen sich im geometrischen Brennpunkt schneiden. Fängt man nun die austretenden Sonnenstrahlen auf einer weißen Wand auf, so erscheint auf derselben ein heller Kreis, und wenn man die Linse der Wand so lange nähert oder von derselben entfernt, bis der Durchmesser dieses Kreises doppelt so groß ist als der Durchmesser der Linse, so ist der Abstand der Linse von der Wand gleich dem Abstande des geometrischen Brennpunktes von der Linse, also gleich der Brennweite.

§. 217. Sphärische und chromatische Abweichung. Wir haben im vorhergehenden gesehen, daß die von einem leuchtenden Körper auf eine Linse nahe an der Mitte fallenden Strahlen so gebrochen werden, daß sie entweder sich selbst oder daß ihre Verlängerungen sich nahe in dem nämlichen Punkte durchschneiden. Dieses gilt jedoch nicht mehr für die in größerer Entfernung von der Mitte auffallenden Strahlen. Man pflegt daher, wenn man deutliche Bilder erhalten will, die Linse mit einem Schirme zu bedecken, welcher in der Mitte eine kreisförmige Öffnung hat und nur den nahe an der Mitte auffallenden Strahlen einen Durch[illegible] gestattet, dagegen [illegible]. — Aber auch die nahe an der [illegible] auch die Linse [illegible] sich nicht ganz genau, sondern

nur ungefähr in demselben Punkte. Da hiernach die von einem Punkte ausgehenden Strahlen bei ihrer engsten Vereinigung nicht wieder in einen mathematischen Punkt, sondern in einen kleinen Kreis konzentriert werden, so müssen die von einer Linse erzeugten Bilder an einer mehr oder weniger großen Undeutlichkeit leiden. Man nennt dies die sphärische Abweichung.

Eine noch beträchtlichere Undeutlichkeit der durch die Linse erzeugten Bilder entspringt aus dem Umstande, daß die das weiße Licht zusammensetzenden Strahlen eine verschiedene Brechbarkeit haben und folglich bei der Brechung durch die Linse sich in verschiedenen Punkten vereinigen. Der Vereinigungspunkt der am meisten brechbaren, violetten Strahlen muß offenbar am nächsten, der Vereinigungspunkt der am schwächsten brechbaren, roten Strahlen am weitesten hinter die Linse fallen. Das von einem weißen Gegenstande auf dunklem Grunde durch die roten Strahlen erzeugte Bild muß folglich die anderen an Größe übertreffen. In der Mitte, da, wo die Bilder aller farbigen Strahlen sich decken, entsteht zwar aus der Vereinigung derselben wieder weißes Licht, aber am Rande überragt das rote und demnächst das gelbe Bild die übrigen; es ist daher das Bild des weißen Gegenstandes von einem rotgelben Saume eingefaßt. In ähnlicher Art läßt sich zeigen, daß das Bild eines dunklen auf weißem Grunde befindlichen Gegenstandes eine bläulich violette Einfassung haben muß, wonach sich wohl hinreichend die farbigen Ränder erklären, welche man z. B. in nicht achromatischen Fernröhren an den durch Linsen erzeugten Bildern bemerkt. Da infolge dieser farbigen Ränder das Bild sowohl im ganzen als auch in seinen Teilen scharfer Grenzen entbehrt, kann es auch keine vollkommene Deutlichkeit besitzen. Die Ursache dieser Undeutlichkeit nennt man, da sie auf der Farbenzerstreuung beruht, die chromatische Abweichung.

So wie wir oben (§. 206) gezeigt haben, daß durch Verbindung eines Prismas aus Kronglas und eines Prismas aus Flintglas, deren brechende Winkel eine entgegengesetzte Lage haben, sich ein achromatisches Prisma herstellen läßt, indem das Flintglas mit dem Kronglas ungefähr gleiches Brechungsvermögen, aber bedeutend stärkeres Zerstreuungsvermögen besitzt, so muß es offenbar auch möglich sein, durch Vereinigung einer Sammellinse K (Fig. 302) aus Kronglas und einer Zerstreuungslinse F aus Flintglas eine achromatische Linse herzustellen. Um dieses noch deutlicher zu zeigen, wollen wir annehmen, die Sammellinse K vereinige für sich allein die violetten Strahlen in v, die roten in r. Fügen wir nun zu derselben eine Zerstreuungslinse F aus Flintglas, welche eine größere Brennweite als K hat und daher die Konvergenz der durch K gebrochenen Strahlen nicht aufzuheben, sondern nur zu schwächen vermag, so wird sowohl der Vereinigungspunkt der violetten als auch der roten Strahlen jetzt weiter hinausrücken. Diese Fortrückung wird aber, da Flintglas violettes Licht nicht in gleichem, sondern in einem größeren Verhältnisse stärker als Kronglas bricht, für die ersteren mehr als für die letzteren betragen; es muß daher möglich sein, ein solches

(Fig. 302.)



Verhältnis zwischen den Brennweiten beider Linsen aufzufinden, daß die Vereinigungspunkte der roten und der violetten Strahlen in dem nämlichen Punkt w zusammenfallen und hier weißes Licht entsteht.

Indem die violetten und roten Strahlen sich in dem nämlichen Punkte vereinigen, so gilt dieses noch nicht unbedingt für alle anderen farbigen Strahlen. Dies würde nur dann der Fall sein, wenn für diese sämtlich das Zerstreuungsvermögen des Flintglases zu dem des Kronglases in einem ganz gleichen Verhältnisse stände, was jedoch nicht stattfindet. Es ist daher auch nicht möglich, eine vollkommen achromatische Linse herzustellen. Man beschränkt sich vielmehr darauf, die Vereinigungspunkte der violetten und roten Strahlen zusammenzubringen, wodurch die chromatische Abweichung, wenn auch nicht vollständig, doch größtenteils aufgehoben wird.

(Fig. 303.)



Häufig sind auch achromatische Linsen aus zwei bikonvexen Kronglaslinsen und einer zwischen denselben befindlichen bikonkaven Flintglaslinse zusammengesetzt, wie dies Fig. 303 zeigt.

Über die sphärische Abweichung bemerken wir noch folgendes: Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkte in der Achse einer Linse ausgehen, und dieselbe in gleichem Abstande von dem optischen Centrum, also in einem Kreise treffen, welchen wir den Brechungskreis nennen wollen, vereinigen sich natürlich nach der Brechung genau in dem nämlichen Punkte der Achse. Dieser Vereinigungspunkt hat jedoch für verschiedene Brechungskreise eine verschiedene Lage. Derselbe fällt, wenn der leuchtende Punkt um mehr als die Brennweite von der Linse absteht, bei bikonvexen oder plankonvexen Linsen näher an die Linse als der Vereinigungspunkt der centralen Strahlen, und zwar um so mehr, je größer der Durchmesser des Brechungskreises ist.

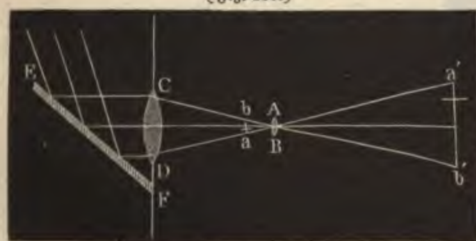
Bei konkavkonvexen Linsen kann man den beiden Krümmungsradien ein solches Verhältnis geben, daß die sphärische Abweichung fast gänzlich aufgehoben wird, wenn die stärker gekrümmte Fläche gegen das hinreichend entfernte Objekt gewendet ist. Man nennt dergleichen Linsen aplanatische. Noch vollständiger läßt sich der Aplanatismus durch die zweckmäßige Verbindung zweier Linsen erreichen.

Während die Hohlspiegel von der chromatischen Abweichung gänzlich frei sind, leiden dieselben ebenfalls an der sphärischen Abweichung. Auch bei diesen fällt für den nämlichen Reflexionskreis der Vereinigungspunkt der zurückgeworfenen Strahlen um so näher an den Spiegel, je größer der Durchmesser dieses Kreises ist.

§. 218. Sonnenmikroskop. Nach dem Vorhergehenden erzeugt eine Linse von einem außerhalb ihrer Brennweite, aber nahe am Brennpunkte befindlichen Gegenstande ein vergrößertes reelles Bild, welches sich leicht auf einer weißen Wand auffangen läßt. Auf diesen Satz gründet sich die Einrichtung des Sonnenmikroskopes.

Der wesentlichste Teil desselben ist eine kleine Linse, Objektivlinse, AB (Fig. 304) von kurzer Brennweite, welche von einem nahe am Brennpunkte befindlichen kleinen Objekte ab auf einer gegenüberliegenden weißen Wand ein stark vergrößertes Bild a′b′ hervorbringt. Je kleiner die Brennweite dieser Linse und je weiter die Wand von derselben entfernt ist, um so größer muß das Bild a′b′ ausfallen, wobei es sich nach dem in §. 216 Gesagten wohl von selbst versteht, daß das Objekt ab dem Brennpunkte der Linse AB näher gebracht werden muß, wenn man dasselbe in größerer Entfer[illegible] n will. — Je stärker das Bild ver-

(Fig. 304.)



größert wird, um so mehr nimmt die Lichtstärke desselben und zwar im quadratischen Verhältnisse der Vergrößerung ab. Es muß daher das Objekt stark erleuchtet sein, wenn das Bild hinreichend hell ausfallen soll. Man bewirkt diese Erleuchtung beim Sonnenmikroskope durch die Sonnenstrahlen, welche von einem Spiegel EF zunächst auf eine Sammellinse CD zurückgeworfen und von dieser in ihrem Brennpunkte, in welchem sich das zu vergrößernde Objekt befindet, konzentriert werden. Indem überdies der Beobachter und das Bild a'b' sich innerhalb eines verfinsterten Zimmers befinden, an dessen Außenseite vor einem mit einer Öffnung versehenen Laden der Spiegel EF angebracht ist, so ist das durch keine anderen Lichteindrücke gereizte Auge um so empfindlicher für das Licht, welches es von dem auf der weißen Wand sich darstellenden Bilde a'b' erhält.

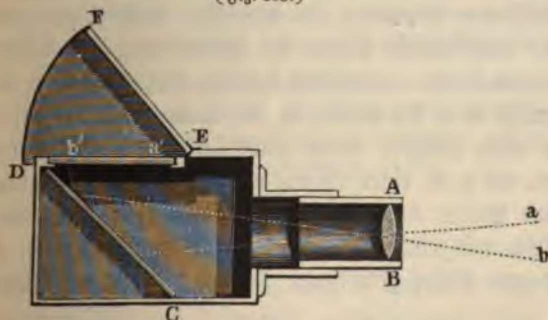
Statt des Sonnenlichtes kann auch das Drummondsche Kalklicht oder das elektrische Licht zur Beleuchtung der Objekte benutzt werden.

Je weiter die das Bild a'b' auffangende Wand von der Linse AB entfernt ist, um so mehr nimmt auch die Größe des Bildes zu, und es giebt keine Grenze, über welche sich die Vergrößerung nicht hinaustreiben ließe. Von dem kleinsten Gegenstande läßt sich bei hinreichender Entfernung der auffangenden Wand ein Bild von riesiger Größe herstellen. Allein mit der Vergrößerung wachsen auch die von der sphärischen und chromatischen Abweichung herrührenden Fehler des Bildes, und die Deutlichkeit und, wie wir schon oben gesehen haben, die Helligkeit des Bildes nehmen ab. Es darf daher die Vergrößerung, wenn man deutliche und hinreichend helle Bilder erhalten will, eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Überhaupt stehen die Leistungen des Sonnenmikroskopes denen der besseren gewöhnlichen Mikroskope, von welchen weiter unten die Rede sein wird, bedeutend nach.

Auf gleichem Principe wie das Sonnenmikroskop beruht auch die Zauberlaterne (laterna magica), nur daß man bei derselben gewöhnlich statt einer kleinen Objektivlinse zwei größere Linsen anwendet, welche im wesentlichen dasselbe leisten wie eine Linse von kürzerer Brennweite, aber dem Bilde eine größere Helligkeit, wenn auch geringere Schärfe geben, indem zu den Fehlern, welche die eine veranlaßt, noch die der andern hinzutreten. Da man bei der Zauberlaterne nur verhältnismäßig schwache Vergrößerungen beabsichtigt, so reicht man auch mit dem Lichte einer gewöhnlichen Lampe aus, deren Strahlen von einem kleinen Hohlspiegel auf das durchscheinende Objekt, ein auf Glas hergestelltes Bild, zurückgeworfen werden. — Die Wirkung des Apparates wird wesentlich erhöht, wenn man zwischen die Lampe und das Objekt noch eine Sammellinse aufstellt, welche die von der Lampe aus divergierenden Strahlen, ehe sie das Objekt treffen, schwach konvergent macht. Ein mit einer solchen Beleuchtungslinse versehener Apparat ist unter dem Namen Sciopticon vielfach in Gebrauch.

Die Zauberlaterne ist 1646 von Kircher und das Sonnenmikroskop 1738 von Lieberkühn erfunden worden.

(Fig. 305.)



§. 219. Camera obscura.

Während im Sonnenmikroskope eine Linse von einem in der Nähe ihres Brennpunktes befindlichen kleinen Objekte ein stark vergrößertes Bild hervorbringt, wird in der Camera obscura von entfernten Gegenständen durch eine Linse ein kleines Bild in der Nähe ihres Brennpunktes erzeugt. Die gewöhnlichste Einrichtung der Camera obscura ist die in Fig. 305 abgebildete. Die von einem entfernten Gegenstande ab auf die Sammel-

linse AB divergierend auffallenden Strahlen werden durch die Brechung in der Linse konvergent. Bevor sich dieselben jedoch wirklich vereinigen und von dem Gegenstande ab ein verkehrtes reelles Bild erzeugen, fallen dieselben auf den unter 45° geneigten Spiegel CD und werden von diesem so zurückgeworfen, daß das Bild a'b' auf eine mattgeschliffene Glastafel DE fällt, auf welcher sich die Umrisse desselben nachzeichnen lassen. — Während nämlich Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen und divergent auf einen Spiegel fallen, auch nach der Zurückwerfung divergieren, so daß ihre Verlängerungen sich in einem hinter dem Spiegel liegenden Punkte schneiden, werden Strahlen, welche konvergent auf einen ebenen Spiegel fallen, sich also hinter demselben schneiden würden, konvergent zurückgeworfen, so daß sie sich in einem vor dem Spiegel liegenden Punkte vereinigen. Endlich ist EF ein zur Abhaltung fremden Lichtes dienender Schirm.

Die Camera obscura ist 1650 von dem Italiener Porta erfunden worden.

§. 220. **Lichtbilder.** Die Camera obscura findet eine nützliche Anwendung bei der Herstellung von Lichtbildern oder Photographieen. Es wird nämlich beim Photographieren eines Gegenstandes das in einer Camera obscura von dem Gegenstande entworfene Bild durch eine chemische Einwirkung des Lichtes fixiert. Man benutzt hierzu die Eigenschaft der Lichtstrahlen, gewisse Silbersalze (Jod-, Brom- und Chlorsilber) zu zersetzen, wobei sich das Silber als feines, schwarzes Pulver ausscheidet. (S. auch §. 208.)

Das photographische Verfahren ist im wesentlichen folgendes: — Man überzieht zunächst eine Glasplatte vermittelst eines durchsichtigen Klebmittels (Kollodium oder Gelatine) mit einer feinen Schicht von Jod- oder Bromsilber. Die Anfertigung dieser lichtempfindlichen Platte geschieht in einem (nahezu) dunkeln Raume; auch bleibt die Platte bis zu dem Augenblicke, wo das Licht einwirken soll, durch eine Umhüllung vor dem Einflusse der Lichtstrahlen geschützt.

Weiter entwirft man sodann in einer Camera obscura von dem abzubildenden Gegenstande auf einer mattgeschliffenen Glastafel ein deutliches Bild*) und setzt darauf an Stelle dieser Tafel die empfindliche Platte der Einwirkung des Lichtes aus. Infolgedessen tritt an den vom Lichte getroffenen Stellen eine Zersetzung des Silbersalzes ein. Gewöhnlich begnügt man sich damit, in der Camera die Reduktion des Silbers bloß einzuleiten, da man dieselbe dann nachträglich mit Hülfe von gewissen reduzierenden Flüssigkeiten, wie z. B. einer Lösung von Eisenvitriol, vollenden kann. Übergießt man nämlich eine Platte, nachdem sie nur kurze Zeit dem Lichte ausgesetzt worden ist, im Dunkeln mit einer solchen Entwickelungsflüssigkeit, so bedecken sich die mehr oder weniger vom Lichte getroffenen Stellen mit einem stärkeren

*) In der für diesen Zweck dienenden Camera obscura fehlt der Spiegel CD (Fig. 305), die Rückwand aber wird durch einen verschieb[illegible] [illegible]ldet, welcher sich der Linse AB nähern und von derselben entfernen läßt; in di[illegible] [illegible]tafel eingesetzt.

oder schwächeren Niederschlage von reduziertem Silber, wodurch diese Stellen eine mehr oder weniger schwarze Färbung erhalten, während die Stellen, auf welche gar kein Licht gefallen ist, unverändert bleiben. Auf diese Weise wird ein sogenanntes **negatives** Bild hervorgerufen, in welchem die hellen Teile des abzubildenden Gegenstandes dunkel, die dunkeln aber hell erscheinen.

Das negative Bild muß nun zunächst vor der weiteren Einwirkung des Lichtes geschützt, mit anderen Worten fixiert werden. Es geschieht dies dadurch, daß man die Platte in eine Lösung von unterschwefeligsaurem Natron taucht, in welcher sich der unzersetzt gebliebene Teil des Silbersalzes auflöst, sodaß nach sorgfältigem Auswaschen nur noch das dunkle Silberpulver zurückbleibt.

Nach der Fixierung vermag man das negative Bild zur Erzeugung von **positiven** Bildern zu benutzen, d. h. von Bildern, in denen Licht und Schatten in derselben Weise verteilt sind wie bei dem abzubildenden Gegenstande. Diese Bilder werden gewöhnlich auf Papier angefertigt, welches mit Chlorsilber überzogen ist. Zu dem Zweck legt man die negative Platte mit der Bildseite auf das photographische Papier und läßt dann durch die Platte auf das fest angepreßte Papier Licht fallen. Indem auf diese Weise das Papier nur an den hellen Stellen des negativen Bildes von Lichtstrahlen getroffen wird, entsteht ein Bild, in welchem die hellen Teile des Gegenstandes wieder hell, die dunkeln aber dunkel erscheinen. Dasselbe wird schließlich ebenso fixiert, wie vorher für das negative Bild angegeben ist.

Der dunkle Raum für photographische Arbeiten darf mit gelbem Lichte schwach erleuchtet werden, da gelbe Lichtstrahlen keine merkliche Wirkung auf die beim Photographieren in Anwendung kommenden Salze ausüben (vergl. §. 208, Anm.).

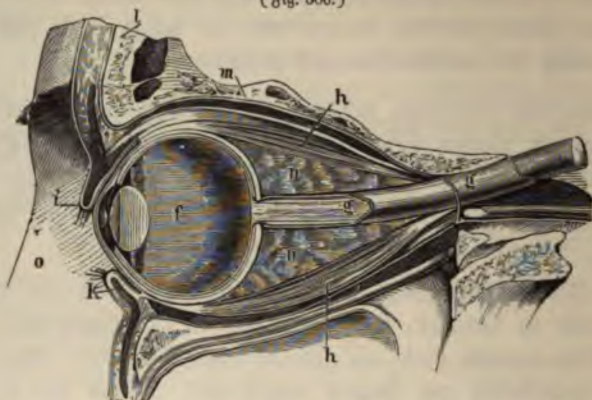
Nach einem älteren Verfahren benutzt man für die lichtempfindlichen Platten als Klebmittel Kollodium und als Silbersalz Jodsilber. Ein Ubelstand dieser Platten ist, daß sie nur für kurze Zeit (im nassen Zustande) lichtempfindlich bleiben und daher jedesmal unmittelbar vor dem Gebrauche angefertigt werden müssen. — Seit einigen Jahren vermag man photographische Platten von größerer Haltbarkeit herzustellen, welche anstatt des Kollodiums Gelatine und statt des Jodsilbers Bromsilber enthalten. Diese **Trockenplatten** zeichnen sich auch noch besonders durch einen hohen Grad von Lichtempfindlichkeit aus. Man fertigt jetzt Platten an, welche nur Bruchteile einer Sekunde dem Lichte ausgesetzt zu werden brauchen, infolgedessen Momentaufnahmen ermöglichen.

Das im obigen beschriebene Verfahren zur Herstellung von Photographieen ist von dem Engländer **Talbot** (1839) entdeckt worden. Einige Zeit vorher hatte schon **Daguerre** in Frankreich die chemische Wirkung des Lichtes zur Anfertigung von Lichtbildern benutzt; seine Erfindung ist jedoch durch das erstere Verfahren vollständig verdrängt worden.

§. 221. Der Bau des Auges. Wir berücksichtigen hier nur den für das Sehen wichtigsten Teil des Auges, den nahe kugelförmigen **Augapfel**, welcher in einer mit Fett und Zellgewebe ausgefütterten Höhle, der Augenhöhle, liegt und durch sechs Muskeln in Bewegung gesetzt wird. Wir unterscheiden an dem Augapfel 5 Häute, die **weiße Haut**, die **Hornhaut**, die **Aderhaut**, die **Regenbogenhaut** und die **Netzhaut**, und drei Feuchtigkeiten, die **wässerige Feuchtigkeit**, die

Glasfeuchtigkeit und die **Krystalllinse.** Fig. 306 stellt einen senkrechten, Fig. 307 in schematischer Ausführung einen wagerechten Durchschnitt des (linken) Auges dar.

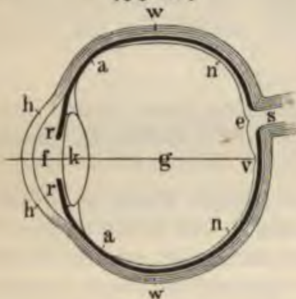
(Fig. 306.)



f Augapfel; g Sehnerv; h Augenmuskel; i oberes Lid; k unteres Lid; l Stirnbein; m Dach der Augenhöhle; n Fettpolster der Augenhöhle; o Nase.

Die **harte** oder **weiße Haut** ww (Fig. 307) schließt den Augapfel äußerlich ein und geht vorn in die etwas mehr konvexe und durchsichtige **Hornhaut** hh über.

(Fig. 307.)



Zunächst unter der harten Haut befindet sich die **Aderhaut** aa, welche aus einem Geflecht sehr feiner Gefäße besteht und an ihrer inneren Seite mit einer schwarzen schleimartigen Substanz überzogen ist, die eine Reflexion der Lichtstrahlen im Innern des Auges verhindert. Da, wo die harte Haut in die Hornhaut übergeht, tritt an die Stelle der Aderhaut die bei verschiedenen Personen verschieden gefärbte **Regenbogenhaut** rr, welche in der Mitte eine Öffnung, die Pupille oder das Sehloch, hat und das Auge in zwei Kammern scheidet, eine größere hintere g und eine kleinere vordere f. Unter der Aderhaut befindet sich endlich die **Netzhaut** nn, welche als eine Ausbreitung des an der hinteren Seite (etwas seitwärts von der Mitte nach dem Innern des Kopfes zu) in den Augapfel eintretenden **Sehnervs** s anzusehen ist. Von den beiden soeben erwähnten Kammern ist die vordere f mit einer etwas salzigen **wässerigen Feuchtigkeit**, die hintere g fast ganz mit einer ebenfalls durchsichtigen, aber eiweißartigen Substanz, dem sogenannten **Glaskörper**, ausgefüllt. Vorn in einer Vertiefung des Glaskörpers liegt die **Krystalllinse** k, welche aus einer etwas festeren Masse besteht als dieser und auf der hinteren Seite etwas stärker als auf der vorderen gekrümmt ist. — Die genannten drei durchsichtigen Substanzen brechen das Licht etwas stärker als Wasser, die Krystalllinse am stärksten.

Die von einem nicht zu nahen Gegenstande auf die Hornhaut auffallenden und durch die Pupille in das Innere [illegible]angenden Lichtstrahlen werden von der Hornhaut, der wässerigen Feuc[illegible]llinse und dem Glaskörper so

es sich jedoch mit senkrechten Entfernungen. Wir sind überrascht, daß, von einem Turme gesehen, sich uns alle am Fuße desselben befindlichen Gegenstände unter so kleinen Gesichtswinkeln zeigen, während wir bei einem gleichen Abstande in der horizontalen Fläche in der nämlichen Verkleinerung des Gesichtswinkels gar nichts Befremdliches finden. — Ebenso erscheinen uns Menschen, welche wir von der ebenen Erde aus auf der Höhe eines Turmes erblicken, auffallend klein.

Auf gleichem Grunde beruht die Täuschung, daß uns die Sonne und der Mond am Horizonte größer als am hohen Himmel oder, wie es eigentlich zweckmäßiger heißen sollte, am hohen Himmel kleiner als in der Nähe des Horizontes erscheinen, ganz ebenso wie der Knopf hoch oben auf dem Turme uns viel kleiner vorkommt, als wenn wir ihn in gleichem Abstande von uns auf ebener Erde sehen. Mißt man den Gesichtswinkel, unter welchem sich uns dieselben zeigen, so findet man, daß derselbe in beiden Fällen der nämliche ist.

Auch in horizontaler Richtung gesehene Gegenstände erscheinen uns kleiner, als sie wirklich sind, wenn wir die Entfernung, in welcher sich dieselben befinden, zu klein abschätzen. Dies ist z. B. bei Menschen, Pferden u. dgl. der Fall, welche wir am jenseitigen Ufer eines breiten Flusses erblicken. — Fahren wir mit großer Schnelligkeit auf der Eisenbahn, so vermögen wir auf dem Felde neben der Bahn die einzelnen Grashalme, Kornähren u. s. w. nicht mehr zu unterscheiden; das ganze Feld stellt sich uns wie eine geglättete Fläche dar, und die in einiger Entfernung auf demselben befindlichen Menschen und Tiere erscheinen uns (ebenso wie diejenigen, welche wir jenseits einer breiten Wasserfläche erblicken), kleiner, als sie wirklich sind.

§. 225 (224, b). **Stereoskop.** Bei der Unterscheidung der Erhabenheiten und Vertiefungen einer Fläche sowie überhaupt der Körperlichkeit eines Gegenstandes, wird unser Urteil vorzüglich durch die Verteilung von Schatten und Licht geleitet. Bei nahen Gegenständen gewährt auch die Ungleichheit der Bilder in beiden Augen unserem Urteil eine Unterstützung. So wie nämlich die Zeichnung eines Körpers ungleich ausfällt, wenn man denselben von verschiedenen Standpunkten aus aufnimmt, so muß auch die Zeichnung eines nicht zu fernen Gegenstandes verschieden ausfallen, je nachdem man denselben bloß mit dem einen oder mit dem andern Auge betrachtet, und ebenso müssen auch die auf der Netzhaut in beiden Augen entstehenden Bilder etwas voneinander verschieden sein. Betrachtet man z. B. einen Kegel, dessen Grundfläche der Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Augen parallel und dessen Spitze gegen die Spitze der Nase gerichtet ist, mit dem rechten oder linken Auge, so erscheint im erstern Falle die Spitze links, im andern rechts von der Mitte der Grundfläche.

(Fig. 309.)



Sind überhaupt A, B, C (Fig. 309) drei Punkte irgend eines auf der ebenen Fläche fg abzuzeichnenden Gegenstandes, so sind a, b, c die in die Fläche fg fallenden Bilder der drei Punkte A, B, C, wenn der Gegenstand mit dem (linken) Auge O gesehen wird, während a', b', c' die Bilder dieser Punkte für das (rechte) Auge O' sind. — Wenn

ab, welchen die von dem Auge nach den äußersten Grenzen des gesehenen Gegenstandes gezogenen Linien einschließen. Der Gesichtswinkel wird um so kleiner, je kleiner der Gegenstand und je weiter derselbe von dem Auge entfernt ist. Geht der Gesichtswinkel eines Gegenstandes unter eine gewisse Grenze herab, so vermögen wir denselben nicht mehr wahrzunehmen. Dieser Grenzwert beträgt für mäßig erleuchtete Gegenstände ungefähr eine halbe Minute;*) doch ist derselbe je nach der verschiedenen Schärfe des Auges verschieden und für stark erhellte Gegenstände kleiner als für schwach erleuchtete. So nimmt z. B. unser Auge den Sirius und andere Fixsterne sehr lebhaft wahr, obschon der Gesichtswinkel derselben noch lange keine Sekunde beträgt.

2) Die Lichteindrücke im Auge dürfen nicht von einer zu kurzen Dauer sein, wenn dieselben deutlich wahrgenommen werden sollen. Die hierzu erforderliche Zeit wird jedoch durch die Stärke des Lichtes bedingt. So nehmen wir z. B. den Blitz oder den elektrischen Funken trotz ihrer äußerst kurzen Dauer sehr deutlich wahr, während wir eine abgeschossene Flintenkugel nicht zu sehen vermögen. — Andererseits dauert die Empfindung des Lichteindrucks noch eine kurze Zeit, (bei mäßiger Stärke desselben etwa $^1/_8 - ^1/_4$ Sekunde), fort, nachdem die ihn erzeugende Ursache aufgehört hat. Wir sehen daher, wenn z. B. eine glühende Kohle im Kreise rasch genug umgeschwungen wird, nicht mehr den einzelnen bewegten Körper, sondern einen leuchtenden Ring. Ebenso erscheint uns der Blitz, der elektrische Funke als eine Linie u. dgl. m. Auf demselben Grunde beruhen auch die Erscheinungen der sogenannten Thaumatropie. Malt man z. B. auf die eine Seite einer Scheibe einen Käfig, auf die andere einen Vogel und dreht die Scheibe rasch um eine in ihrer Ebene liegende Achse, so erblickt man den Vogel im Käfig.**)

3) Das Bild eines Gegenstandes muß auf die Netzhaut fallen, wenn wir denselben deutlich sehen sollen. Nach §. 216 fällt nun bei der nämlichen Linse das Bild eines außerhalb der Brennweite derselben befindlichen Gegenstandes um so weiter hinter die Linse hinaus, je kleiner der Abstand des Gegenstandes von derselben ist. Trotzdem vermögen wir (im allgemeinen) sowohl nahe als ferne Gegenstände deutlich zu sehen, also beim Sehen der einen, wie beim Sehen der anderen das Bild auf die Netzhaut zu bringen. Dieses Akkomodationsvermögen des Auges hat seinen Grund hauptsächlich darin, daß bei dem Sehen in die Nähe die vordere Fläche der Krystalllinse stärker gekrümmt ist, als beim Sehen in die Ferne, also die Brechkraft des Auges durch Änderung der Linsenkrümmung der jedesmaligen Entfernung angepaßt werden kann. Wir sind nicht imstande, mit demselben Auge gleichzeitig nahe und fernere Gegenstände, z. B. einen schwarzen Punkt in der Fensterscheibe und eine in der nämlichen Richtung liegende Turmspitze, deutlich zu sehen.

---

*) Der Sinus und die Tangente eines Winkels von 1'' sind sehr nahe $= ^1/_{206000}$. Da sich nach §. 16 der Trigonom. die Sinus und Tangenten sehr kleiner Winkel nahezu wie die Winkel selbst verhalten, so ist annähernd sin und tang $^1/_2{}' = ^1/_{7000}$. Daher verschwindet für das Auge ein mäßig erleuchteter Gegenstand von 1 m Durchmesser, wenn seine Entfernung 1 Meile beträgt, und ein kleiner Gegenstand verschwindet in der deutlichen Sehweite, welche wir = 21 cm setzen können, wenn sein Durchmesser weniger als 0,03 mm beträgt.

**) *Auch* die sogenannten stroboskopischen Scheiben, optischen Drehscheiben gehören hierher.

*§. 226 (225). **Das einfache Mikroskop.** Wenn wir einen sehr kleinen Gegenstand deutlich sehen wollen, müssen wir denselben dem Auge möglichst nahe bringen, um hierdurch den Gesichtswinkel und das Bild auf der Netzhaut zu vergrößern. Diese Annäherung darf jedoch nicht unter die deutliche Sehweite herabgehen, weil das Auge zu stark divergierende Strahlen nicht mehr auf der Netzhaut zu vereinigen vermag. Wir werden dagegen den kleinen Gegenstand dem Auge weit mehr nähern können, wenn wir zwischen denselben und das Auge eine Sammellinse bringen, weil durch dieselbe die Divergenz der Lichtstrahlen geschwächt wird.

Auf diesem Satze beruht das einfache Mikroskop oder die Lupe. Ist nämlich c (Fig. 313) eine Sammellinse von kurzer Brennweite, ab ein kleiner innerhalb der Brennweite der Linse, aber nahe am Brennpunkte befindlicher Gegenstand, so erblickt das an der anderen Seite der Linse in O befindliche Auge, wie wir in §. 216 gezeigt haben, ein vergrößertes Bild des Gegenstandes a′b′. Da dieses Bild um so mehr oder weniger von der Linse c entfernt ist, je näher oder ferner der Gegenstand selbst von dem Brennpunkte der Linse ist, so läßt sich durch allmähliche Annäherung oder Entfernung des Objektes ab von der Linse leicht bewirken, daß das Bild a′b′ in der deutlichen Sehweite, also für das in O befindliche Auge vollkommen deutlich erscheint.

(Fig. 313.)



Da sich die Durchmesser des Bildes a′b′ und des Gegenstandes ab offenbar wie ihre Entfernungen von dem optischen Centrum der Linse verhalten, da ferner der Abstand des Bildes a′b′ von der Linse der deutlichen Sehweite gleich ist und der Gegenstand ab bei einer Linse von kurzer Brennweite sich sehr nahe am Brennpunkte derselben befinden muß, wenn das Bild in einer Entfernung von 20—25 cm erscheinen soll, so verhält sich folglich a′b′ zu ab (nahezu) wie die deutliche Sehweite zur Brennweite der Linse. Die lineare Vergrößerung ist daher bei einem einfachen Mikroskope (nahezu) gleich dem Quotienten aus der deutlichen Sehweite des Auges und der Brennweite der Linse, und die Vergrößerung nach dem Verhältnis der Fläche ist dem Quadrate dieser Zahl gleich.

Zufolge des eben Angeführten ist für das nämliche Auge die Vergrößerung, welche eine mikroskopische Linse gewährt, um so beträchtlicher, je kleiner ihre Brennweite ist, für ein kurzsichtiges Auge aber geringer als für ein normales oder weitsichtiges Auge, was darin seinen Grund hat, daß das kurzsichtige Auge in der deutlichen Sehweite, weil dieselbe kleiner ist, die Gegenstände größer als andere Augen sieht; es vermag daher auch unbewaffnet kleine, für andere Augen nicht mehr erkennbare Gegenstände noch deutlich zu sehen.

In der Anm. zu §. 216, b erhielten wir die Gleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha},$$

in welcher a = ce, und da das Bild an die nämliche Seite mit dem Gegenstande fällt, α negativ = — ce′ zu setzen ist, wodurch die vorstehende Gleichung übergeht in

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{ce} - \frac{1}{ce'}, \text{ folglich } \frac{ce'}{ce} = \frac{ce'}{f} + 1.$$

Die Vergrößerungszahl $\left(\frac{ce'}{ce}\right)$ ist also eigentlich um 1 größer als der Quotient aus der deutlichen

Sehweite und der Brennweite $\left(\frac{ce'}{f}\right)$, wobei freilich der Abstand des Auges von dem optischen Centrum als verschwindend klein angenommen ist.

Durch eine sehr kleine Linse läßt sich auch nur ein sehr kleiner Gegenstand oder ein kleiner Teil eines Gegenstandes auf einmal übersehen; sie gewährt also ein sehr kleines Gesichtsfeld. Ebenso ist klar, daß eine sehr kleine Linse nur einer geringen Lichtmenge den Durchgang gestattet. Die durch dieselbe erzeugten Bilder können daher auch nur eine sehr geringe Helligkeit haben. — Stellt man zwei Linsen von größerer Brennweite dicht hintereinander, so bewirken dieselben im wesentlichen das nämliche wie eine Linse von kürzerer Brennweite. Das vergrößerte Bild, welches die eine von einem vor derselben befindlichen Gegenstande erzeugt, wird nochmals durch die zweite Linse vergrößert. Zwei solche größere Linsen gewähren den Vorteil einer größeren Helligkeit. Anderseits aber treten zu den Fehlern des Bildes, welche von der einen Linse herrühren, auch noch die Fehler, welche die Brechung des Lichtes in der anderen hervorruft, wenn nicht diese Linsen genau berechnete und sehr sorgfältig ausgeführte Krümmungen haben.

Linsen, deren Brennweite über einen Centimeter beträgt, und die daher nur eine schwache Vergrößerung bewirken, werden gewöhnlich nicht Mikroskope, sondern **Lupen** genannt.

Die vergrößernde Eigenschaft von Glaskugeln war schon den alten Griechen und Römern bekannt; an Linsen ist dieselbe gleichzeitig mit der Erfindung der Brillen beobachtet worden.

***§. 227** (226). **Das zusammengesetzte Mikroskop.** Das **zusammengesetzte Mikroskop** besteht in seiner einfachsten Einrichtung aus einer Objektivlinse CD (Fig. 314) von sehr kurzer Brennweite, welche von einem außerhalb der Brennweite derselben befindlichen Gegenstande ab ein umgekehrtes Bild a'b' erzeugt, und einer Okularlinse AB, welche dieses Bild vergrößert und in die deutliche Sehweite bringt, so daß es dem an der andern Seite dieser Linse befindlichen Auge in a''b'' erscheint.

(Fig. 314.)



Die Okularlinse hat also dieselbe Verrichtung wie die Linse eines einfachen Mikroskopes, nur daß durch dieselbe im zusammengesetzten Mikroskope nicht wie im einfachen das Objekt unmittelbar, sondern das durch die Objektivlinse erzeugte, vergrößerte und umgekehrte Bild betrachtet wird. Diese Linse kann aber keine so kurze Brennweite haben als beim einfachen Mikroskope, weil das Bild a'b' niemals ganz frei von Fehlern ist und daher keine zu starke Vergrößerung verträgt.

Statt eines einfachen Okulars wendet man zufolge des in der Anm. zum vorhergehenden §. Angeführten zweckmäßig auch ein aus zwei Linsen zusammengesetztes an. Ebenso können auch für das Objektiv zwei oder drei achromatische Linsen miteinander verbunden werden.

Gewöhnlich befindet sich noch zwischen dem Objektive und Okulare in der Nähe des letzteren eine Linse, welche den Namen **Kollektivlinse** führt. Sie fängt die durch das Objektiv gebrochenen Strahlen auf, noch ehe sich dieselben zu einem Bilde vereinigt haben, und indem sie dieselben genauer in einem Punkt zusammenbringt, giebt sie [illegible] größere Schärfe und vermindert die chromatische Abweichung. — Durch die Kollektivlinse [illegible] von der Objektivlinse erzeugte Bild dieser etwas näher gebracht und verkleinert und [illegible] geschwindigkeit vergrößern.

Sämtliche Linsen sind in eine Röhre gefaßt, welche inwendig geschwärzt ist, um die Reflexion der Lichtstrahlen von den Wänden der Röhre zu verhindern. Da, wo das erste Bild a'b' entsteht, ist die Röhre durch einen undurchsichtigen Schirm geschlossen, welcher in der Mitte eine kreisförmige Öffnung hat und nur denjenigen von der Objektivlinse gebrochenen Strahlen einen Durchgang gestattet, welche nahe an der Achse einfallen, die Randstrahlen aber abhält. Dieser Schirm wird Diaphragma oder Blendung genannt.

Da mit der Vergrößerung die Helligkeit des Bildes abnimmt, so muß das Objekt hinreichend stark erleuchtet sein, was für durchscheinende Gegenstände durch einen kleinen unterhalb derselben angebrachten Hohlspiegel, für undurchsichtige Gegenstände durch einen seitwärts angebrachten Spiegel oder eine Linse bewirkt wird.

Die Vergrößerung, welche ein zusammengesetztes Mikroskop liefert, wird auf theoretischem Wege gefunden, wenn man die durch die Objektiv- und die Okularlinse einzeln bewirkten Vergrößerungen sucht und miteinander multipliziert. Zur praktischen Bestimmung eignet sich am besten das folgende Verfahren. Man wendet als Objekt ein Mikrometer an, d. h. eine Glasscheibe, auf welcher in gleichen Abständen sehr feine parallele Linien eingeritzt sind. Äußerlich bringt man an dem Instrumente unmittelbar über dem Okulare einen unter 45° gegen die Achse des Mikroskopes geneigten kleinen Planspiegel (oder eine Camera lucida, §. 199, Anm.) und hinter demselben in der deutlichen Sehweite einen weißen Schirm an, auf welchem ebenfalls in kleinen Abständen parallele Linien gezogen sind. Wenn man in das Spiegelchen sieht, so erblickt man in demselben das vergrößerte Bild der Mikrometereinteilung und zugleich hinter demselben den eingeteilten Schirm. Indem man beobachtet, wie viele Felder des letzteren durch ein Feld des Mikrometers bedeckt werden, und durch direkte Abmessung bestimmt, wievielmal ein Feld des Mikrometers in einem Felde des Schirms enthalten ist, so giebt das Produkt dieser Zahlen die gesuchte Vergrößerung.

Bei dem nämlichen Mikroskope befinden sich gewöhnlich mehrere Objektivlinsen, mit denen man wechseln kann, je nachdem man eine stärkere oder schwächere Vergrößerung beabsichtigt. Gute Mikroskope gewähren eine 500- bis 1000fache Vergrößerung. Übrigens ist nicht unbedingt dasjenige Mikroskop das vorzüglichste, welches am stärksten vergrößert, sondern dasjenige, durch welches man einen kleinen Gegenstand am deutlichsten und vollständigsten sieht.

Die Zeit der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskopes läßt sich nicht genau angeben; man findet den Gebrauch desselben wenige Jahre nach Erfindung der Fernröhre.

***§. 228 (227). Das Fernrohr.** Man unterscheidet dioptrische und katoptrische Fernröhre, je nachdem dieselben bloß aus Linsen zusammengesetzt sind oder auch Spiegel enthalten. Die katoptrischen Fernröhre werden gewöhnlich nur in größerem Maßstabe ausgeführt und führen vorzugsweise den Namen Teleskope. Größere dioptrische Fernröhre nennt man auch Refraktoren. Wir führen unter den dioptrischen Fernröhren zuerst an

das astronomische oder Keplersche Fernrohr, welches mit dem zuletzt beschriebenen, zusammengesetzten Mikroskope die größte Ähnlichkeit hat. Es besteht nämlich so wie dieses aus zwei konvexen Linsen, einer Objektivlinse CD (Fig. 315) und einer Okularlinse AB. Der Unterschied ist nur der, daß das Objektiv CD nicht wie bei einem Mikroskope von einem sehr kleinen und nahen, sondern von einem entfernten und großen Gegenstande ein umgekehrtes Bild a'b' erzeugt, welches dann also ebenso wie beim Mikroskope durch die Okularlinse AB für das in O befindliche

(Fig. 315.)



Auge in die deutliche Sehweite hinausgerückt wird, so daß das Auge statt des kleinen Bildes a'b' das vergrößerte Bild a''b'' sieht.*)

Das in O dicht an der Okularlinse befindliche Auge erblickt das Objekt im Fernrohre unter dem Gesichtswinkel a'Ob' und würde ohne das Fernrohr dasselbe unter dem Winkel aEb = a'Eb' sehen; das Auge sieht also das Objekt im Fernrohre soviel mal vergrößert, als der Winkel a'Eb' in a'Ob' enthalten ist. Bezeichnen wir daher die Zahl der Vergrößerung mit m, so ist

$$m = \frac{a'Ob'}{a'Eb'}.$$

Da die Winkel a'Ob' und a'Eb' jedenfalls nur wenige Grade oder Minuten umfassen, so wird man ohne erheblichen Fehler annehmen können, daß sich verhält

$$a'Ob' : a'Eb' = Ec : Oc^{**}),$$

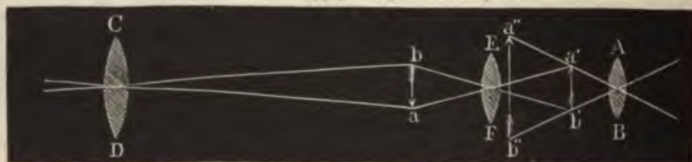
woraus sich ergiebt

$$m = \frac{Ec}{Oc}.$$

Nun ist aber Ec sehr nahe gleich der Brennweite des Objektivs und, wie wir im vorhergehenden Paragraphen gezeigt haben, Oc nahe gleich der Brennweite des Okulars. Die Zahl der Vergrößerung eines astronomischen Fernrohrs ist daher zufolge der vorstehenden Gleichung gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Objektivs und der Brennweite des Okulars, also um so beträchtlicher, je größer die erstere und je kleiner die letztere ist. Da sich jedoch das Gesichtsfeld um so mehr verengt, je größer die Brennweite des Objektivs und je kleiner die Brennweite des Okulars ist, da sich ferner mit der Abnahme der Brennweite des Okulars auch die Fehler des von dem Objektive erzeugten Bildes vergrößern, so erwächst hieraus für die zu erzielende Vergrößerung eine nicht zu überschreitende Grenze. — Wiewohl das astronomische Fernrohr an Helligkeit und Reinheit der Bilder alle anderen Fernröhre übertrifft, so wird dasselbe doch für den gewöhnlichen Gebrauch zur Beobachtung von Gegenständen auf der Erde dadurch unbequem, daß man in demselben die Gegenstände verkehrt sieht. Diese Unbequemlichkeit läßt sich beseitigen, wenn man zwischen Objektiv und Okular noch eine das Bild umkehrende Linse EF einschaltet, wie dies Fig. 316 zeigt.

Das Erdfernrohr erfordert also wenigstens drei Linsen, eine Objektivlinse CD

(Fig. 316.)



und zwei Okularlinsen EF und AB. Diese Linsen sind so geordnet, daß die Linse EF von dem durch das Objektiv CD erzeugten Bilde ab an der anderen Seite ein aber-

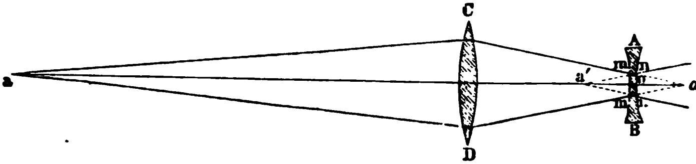
*) Zwischen der Okular- und Objektivlinse ist ebenso wie beim zusammengesetzten Mikroskope noch eine Kollektivlinse und eine Blendung angebracht.

**) In den gleichschenkligen Dreiecken a'Eb' und a'Ob' ist $a'b' = 2Ec \tan \frac{1}{2} a'Eb' = 2Oc \tan \frac{1}{2} a'Ob'$, folglich $Ec : Oc = \tan \frac{1}{2} a'Ob'$ [illegible] $b' = a'Ob' : a'Eb'$ (Trigon. §. 16).

mals umgekehrtes, also aufrechtes Bild a'b' hervorbringt, von welchem endlich die Okularlinse für das vor derselben befindliche Auge das vergrößerte Bild a''b'' in der deutlichen Sehweite erzeugt.

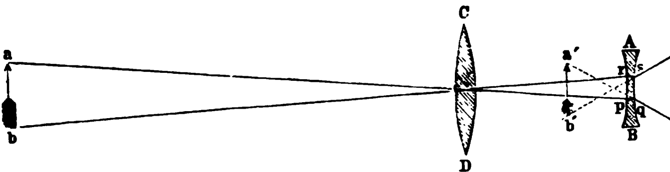
Das einfachste Fernrohr, in welchem man die Gegenstände aufrecht sieht, ist das von allen Fernröhren zuerst erfundene holländische oder Galileische; dasselbe besteht aus einer konkaven Okular= und einer konvexen Objektivlinse, AB und CD (Fig. 317), deren gegenseitiger Abstand noch etwas kleiner als die Differenz zwischen

(Fig. 317.)



der reellen Brennweite des Objektivs CD und der imaginären Brennweite des Okulars AB ist. Die von einem entfernten, in der optischen Achse des Fernrohrs befindlichen Punkte a ausgehenden und auf das Objektiv CD fallenden Strahlen werden durch dieses so gebrochen, daß sie ohne das Vorhandensein des Okulars sich in einem ebenfalls in der Achse liegenden Punkte *α* zu einem reellen Bilde vereinigen würden. Da die durch das Objektiv CD gebrochenen Strahlen nur schwach konvergent auf das konkave Okular AB fallen, indem der Vereinigungspunkt derselben *α* jenseits des imaginären Brennpunktes des Okulars AB liegt, so treten diese Strahlen infolge der Brechung, welche sie durch das Okular erfahren, divergent aus demselben aus, so daß ihre rückwärts fortgesetzten Verlängerungen sich in einem in der Achse liegenden Punkte a' durchschneiden und an die Stelle des reellen (aber wegen des Okulars nicht zustande kommenden) Lichtkegels *nαn* der imaginäre Lichtkegel ma'm tritt und von dem entfernten Punkte a statt eines reellen Bildes in *α* ein imaginäres Bild (in der rückwärts fortgesetzten Verlängerung des Strahles *oα*) in a' entsteht. — Ist ferner a (Fig. 318) ein entferter, außerhalb der Achse eines holländischen Fernrohrs liegender Punkt, so läßt sich durch eine der eben angestellten ganz ähnliche Überlegung zeigen,

(Fig. 318.)



daß ein von diesem Punkte ausgehender Lichtbüschel, dessen Hauptstrahl ap durch das Objektiv CD ungebrochen hindurchgeht, von diesem und dem Okular AB so gebrochen wird, daß in der rückwärts fortgesetzten Verlängerung des bei q austretenden Strahles ein imaginäres Bild a' des entfernten Punktes a erzeugt wird. Da nun ebenso von dem entfernten Punkte b ein imaginäres Bild in b' und von den zwischen a und b liegenden Punkten imaginäre Bilder zwischen a und b entstehn, so erblickt ein in der Richtung der austretenden Strahlen befindliches Auge von dem entfernten

Gegenstande ab ein imaginäres aufrechtes Bild a'b'. — Die Vergrößerungszahl ist bei dem holländischen Fernrohre ebenso wie bei dem astronomischen dem Quotienten aus der Brennweite des Objektivs und der Brennweite des Okulars gleich. Dasselbe empfiehlt sich durch seine Kürze und wird daher besonders als Operngucker benutzt; es gestattet aber, wenn das Gesichtsfeld nicht allzu klein ausfallen soll, nur mäßige Vergrößerungen.

Vor der Erfindung achromatischer Linsen ließen die dioptrischen Fernröhre wegen der chromatischen Abweichung nur sehr mäßige Vergrößerungen zu. Man hat deswegen auch statt der Linsen als Objektive bei größeren Fernröhren (metallene) Hohlspiegel in Anwendung gebracht. Das am meisten gebräuchliche Spiegelteleskop ist

das Newtonsche Teleskop. Dieses besteht aus einem großen Hohlspiegel CD (Fig. 319), einem kleinen gegen die Achse des Hohlspiegels unter 45° geneigten Planspiegel E und der konvexen Okularlinse AB, welche dem Planspiegel gegenüber an der Seite des Rohres angebracht ist. Die von einem sehr entfernten Gegenstande auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen werden von demselben so zurückgeworfen, daß sie in der Nähe seines Brennpunktes b ein umgekehrtes, verkleinertes Bild erzeugen würden. Ehe sie sich jedoch zu diesem Bilde vereinigen, treffen sie auf den Planspiegel E und werden von demselben so reflektiert, daß dieses Bild nicht in b, sondern in c nahe am Brennpunkte der Okularlinse AB entsteht, welche dieses Bild dem vor derselben befindlichen Auge vergrößert und in die deutliche Sehweite nach d hinausrückt. — Da man in dieses Teleskop von der Seite sieht, so würde es große Mühe kosten, dasselbe auf ein entferntes Objekt zu richten. Zu diesem Zwecke ist mit demselben ein kleines Fernrohr, der Sucher, so verbunden, daß die Achse des Fernrohrs der Achse des Teleskopes parallel ist. Hat man nun das Fernrohr auf ein entferntes Objekt so gerichtet, daß dieses in der Achse des Fernrohrs erscheint, so wird dasselbe auch im Teleskope gesehen.

(Fig. 319.)



Das Fernrohr mit einem konkaven Okulare ist ums Jahr 1600 in Holland und etwas später, 1610, von Galilei, welcher von dieser Entdeckung eine Nachricht erhalten hatte, erfunden worden. Derselbe entdeckte mit einem von ihm verfertigten Instrumente, das 33 mal vergrößerte, die Trabanten des Jupiter, den Ring des Saturn und Flecken in der Sonne. Gegen das Jahr 1611 gab Kepler die Konstruktion des astronomischen Fernrohrs, 1663 Gregory in England die Konstruktion eines Spiegelteleskopes an, dessen Einrichtung 1666 durch Newton verbessert wurde, und 1757 verfertigte Dollond in England das erste achromatische Fernrohr. — Der von Merz in München nach Pulkowa gelieferte Refraktor hat ein Objektiv von 38 cm Öffnung und 7 m Brennweite und gewährt eine 2000malige Vergrößerung; der vor kurzem von Grubb in Dublin nach Wien gelieferte Refraktor hat sogar ein Objektiv von 69 cm Öffnung. Der Spiegel des Teleskops des Lord Rosse hat beinahe 2 m Durchmesser und 18 m Brennweite; dasselbe giebt eine mehr als 6000malige Vergrößerung.

Da Metallspiegel leicht ihre Politur verlieren, so ist der Gebrauch der Spiegelteleskope ein viel beschränkterer als der der dioptrischen Fernröhre. Man wendet die Spiegelteleskope vorzüglich bei astronomischen Beobachtungen dann an, wenn man eine sehr starke Vergrößerung und eine bedeutende Lichtstärke zu erhalten beabsichtigt.

Die Hauptschwierigkeit, welche sich der Ausführung großer Refraktoren entgegenstellt, besteht darin, für das Objektiv hinreichend große und ganz homogene, von allen Wolken und Streifen freie Glastafeln herzustellen.

Bei kleineren Fernröhren findet man die Zahl der Vergrößerung am einfachsten, indem man die Ziegel eines Daches oder die Rauten eines Fensters mit einem Auge durch das Fernrohr und zugleich mit dem anderen freien Auge beobachtet und zusieht, wie viele gleich große und mit freiem Auge gesehene Abteilungen eine durch das Fernrohr gesehene und vergrößerte Abteilung bedeckt. Noch besser wendet man ein dem oben für Mikroskope angegebenen ähnliches Verfahren an, indem man vor dem Okulare ein unter 45° gegen die Achse des Fernrohrs geneigtes kleines Metallspiegelchen anbringt und als Objekt eine in gleiche Teile geteilte und in angemessener Entfernung aufgestellte Latte anwendet. — Übrigens gilt auch hier das schon oben bei Mikroskopen Gesagte, daß nicht immer das stärker vergrößernde Instrument, sondern dasjenige, durch welches man einen Gegenstand vollständiger und deutlicher sieht, das vorzüglichere ist. Ein sehr einfaches Mittel, um zwei kleinere Fernröhre in Hinsicht ihrer Güte zu vergleichen, besteht darin, daß man untersucht, durch welches von beiden man die nämliche Schrift in größerer Entfernung noch vollkommen deutlich erkennen und lesen kann. Als Prüfungsmittel für größere Fernröhre wählt man gewöhnlich Doppelsterne.

Zehnter Abschnitt.

Von der Wärme.

A. Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

§. 229. Von der Wärme im allgemeinen. Von dem Wesen der Wärme wird weiter unten (§. 252) die Rede sein; wir handeln zunächst von den Wirkungen derselben. Die bekanntesten dieser Wirkungen sind die Einwirkung auf unser Gefühl, die Ausdehnung und die Veränderung des Aggregatzustandes der Körper.

Nach der verschiedenen Affektion unseres Gefühls unterscheiden wir warme und kalte Körper. Wie wenig zuverlässig jedoch die auf die Zeugnisse des Gefühls gegründeten Urteile sind, geht schon daraus hervor, daß wir den nämlichen Körper, welchen wir unter gewissen Umständen warm nennen, unter andern Verhältnissen für kalt erklären. Tauchen wir z. B. eine Zeitlang eine Hand in kaltes, die andere in warmes Wasser und hierauf beide Hände in lauwarmes Wasser, so haben wir an der einen Hand das Gefühl von Kälte, an der andern von Wärme. — Übrigens sollen die Benennungen kalt und warm keinen eigentlichen Gegensatz, wie positiv und negativ elektrisch, sondern nur eine Verschiedenheit dem Grade nach, wie hell und dunkel, ausdrücken.

§. 230. Das Thermometer. Den Zustand der Wärme eines Körpers nennt man seine Temperatur. Unser Gefühl kann, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, uns keinen sichern Maßstab zur Beurteilung der Temperatur eines Körpers gewähren. Man wendet daher zur Abmessung derselben besondere Instrumente an, welche man Thermometer nennt, und bei denen, wie verschieden auch übrigens ihre Einrichtung sein mag, die ungleiche Ausdehnung zweier

Körper durch die Wärme, z. B. beim Quecksilberthermometer die verschiedene Ausdehnung des Quecksilbers und des Glases, als Maß der Temperatur angenommen wird.

Das Quecksilberthermometer, welches unter allen Thermometern das gebräuchlichste ist, besteht aus einer gläsernen Röhre, welche sich unten (gewöhnlich) in eine Kugel (oder noch zweckmäßiger in ein längliches, cylinderförmiges Gefäß) erweitert. Die Kugel und ein Teil der Röhre sind mit Quecksilber angefüllt, und neben der Röhre ist die in gleiche Teile eingeteilte Skale angebracht, auf welcher das Steigen oder Fallen des Quecksilbers in der Röhre abgemessen wird.

Auf dieser Skale sind zunächst zwei feste Punkte verzeichnet, von denen der eine der Eispunkt, der andere der Siedepunkt genannt wird. Man bestimmt den ersteren, indem man die Kugel des Thermometers und den untern Teil der Röhre, soweit das Quecksilber reicht, in schmelzenden Schnee oder schmelzendes Eis taucht und die Stelle auf der Röhre mit einem feinen Striche bezeichnet, bis zu welcher das Quecksilber in der Röhre reicht. Ebenso findet man den Siedepunkt, indem man das Thermometer in siedendes Wasser oder besser in die Dämpfe von siedendem Wasser (§. 240, Anm.) taucht und ebenfalls die Stelle auf der Röhre verzeichnet, bis zu welcher das Quecksilber steigt. Den Zwischenraum zwischen dem Eis- und Siedepunkte teilt man in hundert gleiche Teile und nennt diese Teile Grade. Ebensolche Teile trägt man auch noch über dem Siedepunkte und unter dem Eispunkte auf.

Diese Einteilung, bei welcher an den Eispunkt Null, an den Siedepunkt 100 geschrieben wird, heißt die Centesimaleinteilung oder die Einteilung nach Celsius, weil dieselbe von dem Schweden Celsius eingeführt worden ist. Alle Temperaturangaben in diesem Buche beziehen sich auf diese Einteilung. Weniger zweckmäßig ist die bei uns im gewöhnlichen Leben noch sehr gebräuchliche Einteilung nach dem Franzosen Réaumur, bei welcher an den Eispunkt ebenfalls Null, aber an den Siedepunkt 80 zu stehen kommt, desgleichen die vorzüglich in England verbreitete Einteilung nach Fahrenheit, welcher an den Eispunkt die Zahl 32 und an den Siedepunkt 212 schreibt, also den Zwischenraum in 180 gleiche Teile teilt. Bei sämtlichen Einteilungen werden die Grade über Null mit plus (+), die Grade unter Null mit minus (—) bezeichnet.

Die Grade der einen Einteilung können leicht in die der anderen umgewandelt werden, da 4^0 R. = 5^0 C. = 9^0 F. sind, wobei man jedoch nicht außer acht zu lassen hat, daß Fahrenheit an den Eispunkt nicht Null, sondern 32 schreibt.*)

Durch das Thermometer werden wir in den Stand gesetzt, die Temperaturen zweier Körper oder des nämlichen Körpers für verschiedene Zeiten zu vergleichen. Ob aber das Steigen oder Fallen des Quecksilbers in der Röhre wirklich dem wahren Gange der Wärme proportional erfolgt, ob z. B. für eine Temperaturerhöhung von 20^0 eine doppelt so große Wärmemenge erforderlich ist als für eine

---

*) Es sind folglich n^0 nach C. = $^4/_5 n^0$ nach R. = $^9/_5 n^0 + 32^0$ nach F.
n^0 nach R. = $^5/_4$[illegible] — $^9/_4 n^0 + 32^0$ nach F.
n^0 nach F. = [illegible] $^4/_9(n - 32)^0$ nach R.

Temperaturerhöhung von 10°, ist eine Frage, auf deren Beantwortung wir weiter unten zurückkommen werden. Selbst wenn diese Frage nicht unbedingt zu bejahen sein sollte, so würde das Thermometer doch eine der wichtigsten und nützlichsten physikalischen Gerätschaften bleiben, vorausgesetzt, daß richtig konstruierte Thermometer auch allemal, wenn sie den nämlichen Bedingungen unterworfen werden, denselben Temperaturgrad anzeigen. — Damit dieses der Fall sei, sind bei der Anfertigung des Thermometers noch folgende Regeln zu beobachten:

1) Die Röhre muß überall gleiches Kaliber, gleiche Weite, haben. Man untersucht dieses, indem man in die Röhre einen Tropfen Quecksilber bringt, welcher in derselben die Form eines kleinen Cylinders annimmt. Man überzeugt sich dann durch genaue Messungen, ob das Quecksilbersäulchen, wenn man es durch allmähliches Neigen in der Röhre von einem Ende nach dem andern gleiten läßt, beständig dieselbe Länge hat. Ist diese Länge für verschiedene Stellen in der Röhre merklich verschieden, so ist die Röhre überhaupt als unbrauchbar zu verwerfen.

2) Von den beiden festen Punkten bietet die Bestimmung des Eispunktes keine Schwierigkeit dar. Wir erinnern nur noch, daß man denselben nicht im frierenden Wasser, sondern im schmelzenden Schnee oder Eise feststellt, weil Wasser, wie wir weiter unten noch ausführlicher zeigen werden, mehrere Grade unter Null abgekühlt werden kann, ohne zu frieren, während dagegen die Temperatur des schmelzenden Eises eine feste ist. Jedesmal, wenn man das Thermometer in schmelzenden Schnee oder Eis taucht, sinkt das Quecksilber wieder an die nämliche Stelle. — Das ist jedoch bei dem Siedepunkte nicht unbedingt der Fall, indem derselbe auch von dem Luftdrucke abhängt. Das Wasser siedet nämlich bei stärkerem Luftdrucke bei einer höheren Temperatur als bei schwächerem Luftdrucke. Der Siedepunkt kommt folglich bei einem hohen Barometerstande höher als bei niedrigem Barometerstande zu liegen. Will man daher vergleichbare Thermometer herstellen, so muß der Siedepunkt bei dem nämlichen Barometerstande bestimmt sein, als welchen man gewöhnlich 76 cm annimmt.*)

Gewöhnlich macht man die Thermometer luftleer, indem man durch Erwärmung das Quecksilber bis in die Spitze treibt und diese dann rasch zuschmilzt. Ohne dies würde man Gefahr laufen, daß beim Steigen des Quecksilbers in der Röhre durch den Gegendruck der komprimierten Luft das sehr dünne Glas der Kugel zersprengt werden würde. Auch wird ein Thermometer unrichtig, wenn bei einer Erschütterung Luft zwischen das Quecksilber kommt. — Besonders bei den luftleeren Thermometern geschieht es häufig, daß der Nullpunkt mit der Zeit etwas in die Höhe rückt. Man schreibt dieses dem Umstande zu, daß das sehr dünne Glas der Kugel durch den äußeren Luftdruck etwas zusammengepreßt wird. Man pflegt daher die mit dem Quecksilber gefüllte Röhre, nachdem man dieselbe luftleer gemacht und zugeschmolzen hat, einige Monate liegen zu lassen, ehe man den Eispunkt bestimmt. Überhaupt thut man wohl, an einem Thermometer von Zeit zu Zeit die beiden Normalpunkte zu kontrollieren.

Das Thermometer soll ums Jahr 1605 von Cornelius Drebbel in Holland erfunden worden sein. Drebbels Thermometer war jedoch von unseren gegenwärtigen Thermometern noch sehr verschieden. Es bestand nämlich aus einer im oberen Teile mit Luft, im unteren Teile mit einer

---

*) Wenn das Barometer 27 mm höher oder tiefer als 760 mm steht, so kommt der Siedepunkt ungefähr 1° höher oder niedriger als bei dem normalen Barometerstande zu liegen.

gefärbten Flüssigkeit gefüllten Röhre B (Fig. 320), welche oben in eine ebenfalls mit Luft gefüllte Kugel A endete, mit dem unteren Ende aber in ein mit der nämlichen Flüssigkeit gefülltes Gefäß C tauchte. Neben der Röhre befand sich eine willkürlich eingeteilte Skale, an welcher das Fallen oder Steigen der Flüssigkeit in der Röhre, je nachdem bei vermehrter oder verminderter Wärme sich die Luft in der Kugel ausdehnte oder zusammenzog, gemessen wurde.

(Fig. 320.)



Diese sehr unvollkommene Vorrichtung, deren Gang nicht allein durch die Wärme, sondern auch durch andere Umstände, besonders den Luftdruck, bestimmt wurde, ließ gar keine vergleichbaren Resultate zu, da die festen Punkte noch gänzlich fehlten. Die Mitglieder der Akademie zu Florenz gaben zuerst dem Thermometer die gegenwärtige Einrichtung, wendeten aber als flüssigen Körper nicht Quecksilber, sondern Weingeist an; auch gelang es ihnen, ziemlich übereinstimmende Thermometer herzustellen, indem sie als den einen festen Punkt die durch das ganze Jahr nahe gleiche Temperatur eines tiefen Kellers annahmen und im übrigen die Teilung nach einem Normalthermometer regulierten, wonach denn freilich nur aus Florenz übereinstimmende Thermometer hervorgehen konnten.

Erst später (ums Jahr 1710) wurden durch Fahrenheit in Danzig und Réaumur in Frankreich die jetzt gebräuchlichen festen Punkte eingeführt. Es wird erzählt, daß Fahrenheit nicht den Eispunkt, sondern die um 32 seiner Grade tiefer liegende Temperatur deshalb mit Null bezeichnet habe, weil er die in dem strengen Winter des Jahres 1709 erlebte Kälte, bei welcher das Thermometer um 32 seiner Grade ($17^7/_9$ Centesimalgrade) unter den Eispunkt herabging, als die möglichst größte Kälte und den Nullpunkt der Skale als den eigentlichen Nullpunkt der Wärme angesehen habe. Réaumur teilte seine Skale in 80 gleiche Teile, weil er gefunden hatte, daß 1000 Teile des von ihm zur Füllung der Thermometer angewendeten Weingeistes bei einer Erwärmung vom Eis- bis zum Siedepunkte des Wassers sich um 80 Teile ausdehnten. — Man sieht leicht ein, daß die Zahl der Grade, in welche man den Zwischenraum zwischen den beiden festen Punkten teilt, an sich durchaus willkürlich ist; man wählt daher am zweckmäßigsten die bequeme Zahl 100, welche zuerst von dem Schweden Celsius (1742) angewandt worden ist.

Fahrenheit füllte zuerst Thermometer mit Quecksilber, Réaumur dagegen mit Weingeist. Im folgenden Paragraphen werden wir sehen, daß im allgemeinen das Quecksilber zur Füllung der Thermometer vor allen anderen Flüssigkeiten den Vorzug verdient.

Da zur Abmessung hoher Hitzegrade, in denen das Glas schmilzt, die gewöhnlichen Thermometer nicht dienen können, so hat man für diesen Zweck besondere Apparate konstruiert, denen man den Namen Pyrometer beilegt. Dieselben geben jedoch mehrenteils nur ungenaue Resultate; als besonders zweckmäßig empfiehlt sich ein Verfahren, welches auf der Ausdehnung der Luft durch die Wärme beruht und im wesentlichen in folgendem besteht: Ein luftdichtes Gefäß aus Platin wird in den Raum gebracht, dessen Temperatur man untersuchen will, und durch ein langes, ebenfalls aus Platin bestehendes Rohr mit einer graduierten, weiten, gläsernen Röhre verbunden, die mit Quecksilber angefüllt ist, durch welches die Menge der durch die Wärme aus dem Platinbehälter ausgetriebenen und in die gläserne Röhre eintretenden Luft gemessen wird. Auch dieses Instrument kann bei sehr hohen Hitzegraden keine genauen Resultate geben, da Platin bei denselben für Gase durchdringlich ist (s. §. 77).

Über Thermometer für sehr niedrige Temperaturen siehe den folgenden §.

§. 231. Ausdehnung der luftförmigen, flüssigen und festen Körper durch die Wärme. Daß bei zunehmender Wärme die Körper ihr Volumen vergrößern, bei abnehmender vermindern, ist ein durch eine Menge bekannter Erfahrungen bestätigter Satz. Eine metallene Kugel, welche bei der gewöhnlichen Temperatur durch einen Ring eben hindurchgeht, geht nicht mehr durch, wenn man dieselbe erhitzt; der um das hölzerne Rad geleg[illegible] eiserne Reifen zieht sich bei der Abkühlung

so zusammen, daß er an das Holz fest anschließt; das Quecksilber steigt oder fällt in dem Thermometer bei zu- oder abnehmender Wärme; das nämliche thun alle anderen Flüssigkeiten, wenn man eine Thermometerröhre mit denselben füllt; eine mit Luft gefüllte, fest zugebundene Blase platzt, wenn man sie in die Nähe des geheizten Ofens bringt u. dgl. m.

Die Größe der Ausdehnung, welche verschiedene Körper bei gleichen Temperaturzuwachsen erfahren, ist sehr verschieden. Am stärksten dehnen sich die luftförmigen, weniger stark die flüssigen, am schwächsten die festen Körper aus. (So dehnt sich z. B. bei einer Erwärmung von 0° bis 100° dem Volumen nach Glas ungefähr um $^1/_{400}$, Eisen um $^1/_{270}$, Zink um $^1/_{100}$, Quecksilber um $^1/_{55}$, Wasser um $^1/_{25}$, Öl um $^1/_{12}$ aus.) Während verschiedene feste oder flüssige Körper sich bei gleichen Zuwachsen der Temperatur weder gleich stark, noch nach gleichen Verhältnissen ausdehnen, gilt in Hinsicht der luftförmigen Körper das von Gay-Lussac (1800) aufgefundene Gesetz, daß die Größe der Ausdehnung für alle Gase (nahe) dieselbe ist. Dies gilt jedoch nicht mehr, wenn bei verminderter Temperatur oder verstärktem Drucke ein gasförmiger Körper in den flüssigen Zustand übergeht, sondern nur so lange, als derselbe von diesem Übergange noch weit entfernt ist. Für Gase, wie die atmosphärische Luft, welche erst bei großer Kälte und sehr starkem Drucke flüssig werden, beträgt die Größe dieser Ausdehnung für eine Erwärmung von 0° bis 100° bei gleichbleibendem Drucke ungefähr $^1/_3$ (genauer 0,366) des ursprünglichen Volumens. Ein Volumen Luft dehnt sich daher ungefähr in den doppelten Raum aus, wenn dasselbe um 300° (genauer 273°) erwärmt wird.*)

Zur Ermittelung dieser Größe kann das folgende von Gay-Lussac angewendete Verfahren dienen. An eine überall gleichweite Thermometerröhre wird eine Kugel angeblasen und zunächst das Verhältnis zwischen dem Raumesinhalte der Kugel und dem Raumesinhalte der Röhre dadurch ermittelt, daß man die Kugel und die Röhre bis zu verschiedenen Höhen mit Quecksilber füllt und aufs sorgfältigste abwägt, wobei man natürlich das Gewicht des Glases in Abrechnung bringt. Nach diesen Vorbereitungen läßt man die (durch Chlorcalcium) von Wasserdämpfen möglichst befreite atmosphärische Luft oder eine andere Gasart in die Röhre und in die Kugel eintreten und sperrt dieselbe von der äußeren Luft durch ein kleines Quecksilbersäulchen a (Fig. 321) ab. Bringt man dann die Kugel und Röhre in horizontaler Lage einmal in schmelzenden Schnee und das andere Mal in die Dämpfe von siedendem Wasser und bemerkt in beiden Fällen den Stand des Quecksilbersäulchens in der Röhre, so ergiebt sich hieraus und aus dem bekannten Verhältnisse zwischen dem Raumesinhalte der Röhre und der Kugel die Ausdehnung der Luft zwischen 0° und 100°. Will man dieselbe für andere Temperaturen finden, so taucht man die Kugel und Röhre in Wasser, welches man bis zu den fraglichen Temperaturen erwärmt hat, die man durch ein in das Wasser eingetauchtes Quecksilberthermometer mißt. Die so erhaltenen Resultate

(Fig. 321.)



*) In betreff anderer Temperaturen vgl. oben §. 74, Anm.

bedürfen eigentlich noch einer Korrektion wegen der Ausdehnung des Glases; diese Korrektion ist jedoch sehr klein, da die Ausdehnung des Glases, verglichen mit der der Luft, nur unbedeutend ist.

Die soeben beschriebene und in Figur 321 abgebildete Vorrichtung kann den Namen eines Luftthermometers erhalten; dasselbe hat jedoch die Unbequemlichkeit, daß seine Angaben einer vom Barometerstande abhängenden Korrektion bedürfen, indem der Stand des Quecksilbersäulchens in der Röhre nicht bloß durch die Temperatur der eingeschlossenen Luft, sondern auch durch die Größe des Druckes der äußeren Luft bestimmt wird.

Wie wir gesehen haben, dehnen sich alle Gase, solange sie von dem Übergange in den flüssigen Zustand sehr entfernt sind, für gleiche Temperaturzuwachse (fast) gleich stark aus. Dies hat zu der Annahme geführt, daß die Ausdehnung der Gase dem wahren Gange der Wärme proportional erfolge. (Vgl. auch unten §. 253.) Demzufolge sieht man das Luftthermometer als das eigentliche Normalthermometer an und läßt die Angaben aller anderen Thermometer nur insoweit als richtig gelten, als sie mit dem Luftthermometer übereinstimmen.

Vergleicht man zunächst das Quecksilberthermometer mit dem Luftthermometer, so findet man, daß diese Übereinstimmung für Temperaturen zwischen dem Eis- und Siedepunkte und auch noch einige (etwa 20) Grad jenseits dieser Punkte fast vollkommen vorhanden ist.

Füllt man Thermometer mit anderen Flüssigkeiten als Quecksilber, so stimmen dieselben im allgemeinen weder unter sich noch mit dem Luftthermometer überein. Dies ist der Grund, warum man dem Quecksilber vor allen anderen Flüssigkeiten zur Füllung der Thermometer den Vorzug giebt. Für hohe Kältegrade jedoch wird das Quecksilberthermometer unbrauchbar, da die Ausdehnungen des Quecksilbers in der Nähe seines Schmelzpunktes (— 39°) unregelmäßig werden. Man bedient sich für dergleichen niedrige Temperaturen des Weingeistthermometers, indem wasserfreier Weingeist, absoluter Alkohol, erst bei einer sehr tiefen, nur künstlich zu erzeugenden Temperatur (— 131°) erstarrt (s. unten §. 241, Anm.). Für die höchsten Grade künstlicher Kälte benutzt man Luft- oder Wasserstoffthermometer.

Ebenso weicht für Temperaturen, welche den Siedepunkt erheblich übersteigen, das Quecksilberthermometer vom Luftthermometer ab; man muß daher bei genauen Beobachtungen hoher Temperaturen sich des Luftthermometers bedienen.

Das soeben erwähnte Verfahren, Thermometer mit verschiedenen Flüssigkeiten zu füllen und den Gang derselben mit dem Luft- oder Quecksilberthermometer zu vergleichen, kann auch dazu dienen, wenn man das Verhältnis zwischen dem Raumesinhalte der Kugel und der Röhre kennt, die absolute Größe der Ausdehnung der angewendeten Flüssigkeiten innerhalb bestimmter Temperaturen zu ermitteln, wenn man zugleich auf die Ausdehnung des Glases die nötige Rücksicht nimmt.

Bei den festen Körpern unterscheidet man die lineare und die kubis
Ausdehnung. Die erstere zeigt an, um wieviel sich die Länge oder eine a
Dimension, die letztere, um wieviel sich das Volumen (der Kubiki

vergrößert hat. Man findet die lineare Ausdehnung, aus welcher sich dann auch die kubische leicht berechnen läßt, indem man einen Stab aus der zu untersuchenden Substanz in einem Wasser- oder Ölbade auf verschiedene Temperaturen erwärmt und die Länge, welche derselbe hierbei annimmt, mit großer Genauigkeit abmißt. Man hat auf diese Art gefunden, daß die Ausdehnung für verschiedene feste Körper zwar ungleich ist, daß die meisten sich jedoch zwischen 0° und 100° nahezu gleichförmig und zwar nach demselben Verhältnis wie die luftförmigen Körper, für höhere Temperaturen aber nach zunehmenden Verhältnissen ausdehnen.

Körper, welche in ihren Poren Feuchtigkeit enthalten, wie feuchter Thon, Holz, Papier u. dgl. m., ziehen sich beim Erwärmen zusammen, indem das in ihren Poren enthaltene Wasser ausgetrieben wird. Vollkommen trockenes Holz, Papier u. dgl. folgen jedoch dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung beim Erwärmen.

Man pflegt die verhältnismäßige Größe, um welche ein fester Körper seine Länge bei einer Erwärmung von 1° vergrößert, den (linearen) Ausdehnungskoeffizienten desselben zu nennen. Die (mittleren) Werte für die Ausdehnungskoeffizienten verschiedener fester Körper sind folgende:

Blei	0,000029	Messing	0,000019
Eisen	0,000012	Platin	0,000009
Glas	0,000009	Silber	0,000019
Gold	0,000015	Zink	0,000029
Kupfer	0,000017	Zinn	0,000023

Bezeichnet X die kubische, x die lineare Ausdehnung, so ist

$$1 + X = (1 + x)^3,$$

wofür wir, da x eine sehr kleine Zahl bedeutet, (nach §. 188, b [225, b] der Arithmetik) ohne erheblichen Fehler setzen können

$$1 + X = 1 + 3x, \text{ also } X = 3x,$$

d. h. die kubische Ausdehnung ist dem Dreifachen der linearen Ausdehnung gleich.

Krystallisierte Körper, wie Kalkspat, Gips u. dgl., welche nicht zum regulären Krystallsystem gehören, erleiden nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche Ausdehnung.

Ein eigentümlich abweichendes Verhalten zeigt Kautschuk, indem es beim Erwärmen sich zusammenzieht, und sich erwärmt, wenn es ausgedehnt wird, während Metalldrähte beim Ziehen erkalten. Ein ähnliches Verhalten wie beim Kautschuk ist auch bei der Guttapercha beobachtet worden.

Auf der ungleichen Ausdehnung der Metalle durch die Wärme beruhen unter anderm das Kompensationspendel, von welchem schon oben (§. 40, c) die Rede gewesen ist, und das Metallthermometer. Dieses besteht im wesentlichen aus einem gekrümmten oder spiralförmig gewundenen Streifen, welcher aus zwei zusammengelöteten Metallen, die eine sehr ungleiche Ausdehnung haben, wie z. B. Eisen und Messing oder Silber und Platin, zusammengesetzt ist. Bei einer jeden Temperaturveränderung erleiden die zusammengelöteten Metalle eine ungleiche Verlängerung oder Verkürzung; es muß daher auch die Krümmung des Streifens zu- oder abnehmen, wodurch ein mit demselben verbundener Zeiger, welcher über einem Bogen spielt, auf dem die Grade verzeichnet sind, in Bewegung gesetzt wird. Die Graduierung dieser Instrumente geschieht nach einem richtigen Quecksilberthermometer.

Nach den Untersuchungen von Regnault beträgt bei einer Erwärmung von 0° bis 100° und mittlerem Drucke die Ausdehnung für

…fgas	0,3661	Stickstoffoxydulgas	0,3719
…ische Luft	0,3665	Cyangas	0,3877
…e	0,37[illegible]	…felige Säure	0,3903

…g eines Gases ist hierr… …ngegebenen Grenzen um so beträchtlicher, … verminderter Temp… …ctem Drucke in den flüssigen Zustand … unten §. 239.)

§. 232. Abweichendes Verhalten des Wassers zwischen 0° und + 4°. Während fast alle Körper bei der Erwärmung sich ausdehnen, zeigt das Wasser in der Nähe des Eispunktes eine höchst merkwürdige Abweichung von diesem Gesetze, indem es sich beim Erwärmen von 0° bis 4° nicht ausdehnt, sondern zusammenzieht, bei 4° (ungefähr) seine größte Dichtigkeit erreicht, über 4° erwärmt aber sich wieder ausdehnt, bei 8° nahe denselben Raum einnimmt, also auch die nämliche Dichtigkeit hat wie bei 0° und dann weiter, von 8° bis 100° erwärmt, dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung der Körper durch die Wärme gemäß fortfährt sich auszudehnen. Ebenso zieht Wasser, welches von 100° bis 4° abgekühlt wird, sich der allgemeinen Regel folgend zusammen, dehnt sich aber gegen dieselbe wieder aus, wenn es weiter von 4° bis 0° erkaltet.

Während das Wasser bei der Abkühlung von 4° bis 0° sich allmählich etwas ausdehnt (ungefähr um $^1/_{80}$ Prozent), vergrößert das bis auf 0° erkaltete Wasser bei dem Übergange in den festen Zustand sein Volumen auf einmal um eine noch weit beträchtlichere Größe (9 Prozent ungefähr).

Daß das Wasser bei dem Erstarren zu Eis sich beträchtlich ausdehnt, zeigt eine Menge bekannter Erfahrungen, welche hierin zugleich ihre Erklärung finden. Eis schwimmt auf dem Wasser, (während festes Blei in geschmolzenem zu Boden sinkt); mit Wasser gefüllte, verschlossene Gefäße werden beim Frieren desselben zerrissen; selbst starke eiserne Bomben, in denen Wasser fror, wurden zersprengt; ebenso werden Felsen, in deren Spalten Wasser eingedrungen ist, beim Frieren desselben auseinandergerissen, worin eine der ersten Ursachen, der, wenn auch allmählich, doch beständig fortschreitenden Zertrümmerung und Verwitterung der Felsengebirge besteht. Das Straßenpflaster, Thürschwellen u. dgl. werden durch den Frost gehoben, Wasserleitungen, Mauern, Bäume u. a. m. zerrissen. — Andererseits wirkt der Frost sehr nützlich zur Auflockerung des festeren, lehmigen Erdreichs; daher die große Erweichung lehmigen Bodens selbst bei trockener Witterung, wenn derselbe, in der Nacht gefroren, am Tage durch die Sonnenstrahlen auftaut.

Einen nicht minder großen Nutzen gewährt das auf den ersten Blick vielleicht unerheblich erscheinende, eigentümliche Verhalten des Wassers bei dem Übergange in den festen Zustand dadurch, daß es die Eisbildung wesentlich beschränkt. Wenn nämlich mit dem Herannahen des Winters die Lufttemperatur immer mehr sinkt, so kühlt sich auch das Wasser in Seen und Teichen und zwar zunächst an der Oberfläche ab. Indem das bis auf 4° abgekühlte Wasser vermöge seines größeren specifischen Gewichtes sich zu Boden senkt, das weiterhin bis auf 0° erkaltete leichtere Wasser an der Oberfläche schwimmt, bildet sich das Eis nicht zuerst am Boden, sondern an der Oberfläche des Wassers. Da nun das Eis so wie das Wasser ein schlechter Leiter der Wärme ist, so gewähren die entstandene Eisdecke und die obersten Wasserschichten einen Schutz gegen das weitere Eindringen des Frostes in die tieferen Schichten, in denen die im Wasser lebenden Tiere noch eine Temperatur von 4° Wärme antreffen. — Ohne die Ausdehnu[illegible]s bei dem Erkalten von 4° bis 0° *und bei dem* Erstarren zu Ei[illegible]re Gewässer bei längere Zeit

andauerndem Frostwetter bis auf den Grund zufrieren und so viele Gegenden der Erde eines der wichtigsten Nahrungsmittel, der Fische, fast ganz verlustig gehen.

Anders als in den stehenden Gewässern gestalten sich die Verhältnisse in Flüssen, in denen durch die Strömung eine Mischung der gesamten Wassermasse und so eine gleichförmigere Erkaltung von der Oberfläche bis zum Boden herbeigeführt wird. Da die Krystallisation immer an festen Punkten zuerst beginnt, so bilden sich die ersten Eiskrystalle an den Ufern oder an Felsen, Pfählen u. dgl., besonders aber auf dem Boden der Flüsse, wo überdies die schwächere Strömung die Krystallbildung begünstigt. Indem die am Boden des Flusses entstandenen Eiskrystalle sich immer mehr vergrößern, werden sie auch immer stärker von dem Wasser gehoben, bis sie endlich losgerissen und nach der Oberfläche getrieben werden. Man sagt dann, der Strom treibe **Grundeis**. Mit der Vermehrung desselben wird die Bewegung des Stromes an der Oberfläche immer mehr gehemmt, die Eismasse kommt endlich zum Stehen und bildet über den Fluß eine gegen das weitere Eindringen des Frostes schützende Decke. Die Bildung der festen Eisdecke wird aber noch beschleunigt durch eine andere ebenfalls sehr merkwürdige Eigentümlichkeit des Eises, daß nämlich Stücke desselben von 0° im Wasser von gleicher und selbst höherer Temperatur bei der Berührung **zusammenfrieren**. Auf diese Art geschieht es häufig, daß der Fluß, auf welchem heute noch Treibeis schwimmt, schon morgen mit einer festen Decke bekleidet ist, welche Menschen den sichern Übergang gestattet.

Die soeben angegebene, bis jetzt bei keiner anderen Substanz beobachtete Eigenschaft des Eises, für welche noch die genügende Erklärung fehlt, wird mit dem Namen **Regelation** bezeichnet.

Wenn man Wasser durch längeres Auskochen möglichst luftleer macht und dann gegen jede Erschütterung schützt, so kann dasselbe bis zu 10 und mehr Grad unter den Eispunkt abgekühlt werden, ohne zu erstarren.*) Auch bei dieser Abkühlung unter 0° zieht sich das Wasser nicht zusammen, sondern fährt fort so wie bei der Abkühlung von 4° bis 0° und zwar in noch stärkerem Verhältnisse sich auszudehnen.

Eis zieht sich, der allgemeinen Regel folgend, bei der Abkühlung unter 0° zusammen, und dehnt sich, wenn es von Temperaturen unter Null bis 0° erwärmt wird, wieder aus. Der lineare Ausdehnungskoeffizient des Eises ist = 0,000053, also größer als bei allen bekannten festen Körpern.

Das Meerwasser, welches ungefähr bei — 2° friert, hat oberhalb dieser Temperatur kein Maximum der Dichte. In Gefäße eingeschlossenes Meerwasser läßt sich beträchtlich unter seinen Gefrierpunkt abkühlen und erlangt dann zwischen —3° und —4° seine größte Dichte. Ein ähnliches Verhalten zeigen überhaupt Salzlösungen.

So wie Wasser dehnen sich auch einige andere Substanzen, z. B. geschmolzenes Wismut und geschmolzener Salpeter, beim Erstarren aus.

§. 233. Luftzug in Schornsteinen und geheizten Zimmern. Wie wir im vorhergehenden §. gesehen haben, vergrößert die Luft bei der Erwärmung, (wenn der Druck derselbe bleibt), für jeden Grad ihr Volumen um den 300. (genauer 273.) Teil. Diese so beträchtliche Ausdehnung ist die gewöhnliche Ursache sowohl der auf einen engeren Raum beschränkten Strömungen, welche wir als Luftzug, als auch der größeren atmosphärischen Strömungen, welche wir als Winde bezeichnen. Als das

*) Man macht den Versuch zweckmäßig auf die Art, daß man zwei Probiergläschen, von denen das eine lufthaltiges Wasser, das andere zugekorkte sorgfältig ausgekochtes Wasser enthält, zugleich in eine *Kältemischung stellt.*

einfachste und am leichtesten genauer zu erörternde Beispiel heben wir zunächst den Zug der Luft in den geheizten Schornsteinen oder Ofenpfeifen hervor. Es sei A (Fig. 322) das obere, B das untere Ende eines senkrecht stehenden Schornsteines, in welchem die Luft durch ein unter demselben angebrachtes Feuer zu einer höheren Temperatur als die äußere Luft erwärmt wird. Infolge der Erwärmung dehnt sich zunächst die in dem unteren Teile des Schornsteins befindliche Luft aus und hebt die über ihr lagernde Luftmasse in die Höhe; dadurch entsteht aber ein Druck nach aufwärts, welcher sich bis zur oberen Öffnung bei A fortpflanzt und Luft aus dem Innern austreibt, sodaß das Gewicht der inneren Luftsäule mit zunehmender Erwärmung sich verringert.

(Fig. 322.)



Es sei nun a der bei A stattfindende äußere Luftdruck, (die Länge einer dem äußeren Luftdrucke das Gleichgewicht haltenden Quecksilbersäule), d das Gewicht der äußeren kalten Luftsäule AB, (die Länge einer gleich schweren Quecksilbersäule), und d′ das Gewicht der im Schornstein enthaltenen erwärmten Luftsäule; dann ist $a + d$ der Druck, welchen die äußere Luft, $a + d'$ aber der Druck, welchen die in dem Schornstein enthaltene Luft bei B ausübt; demnach übertrifft der äußere Druck den inneren um $d - d'$. Mit einer dieser Differenz entsprechenden Kraft wird unten bei B die äußere kalte Luft in den Schornstein hineingetrieben.

Mit derselben Kraft strebt aber auch die Luft oben bei A auszuströmen. Denn da der sich nach innen fortpflanzende Druck der äußeren Luft, welcher bei B gleich $a + d$ ist, durch das Gewicht d′ der im Schornsteine enthaltenen Luftsäule vermindert wird, so ist der Druck, mit welchem die Luft im Schornsteine oben bei A in die Höhe getrieben wird, gleich $a + d - d'$; derselbe übertrifft daher den äußeren Luftdruck bei A ebenfalls um die Größe $d - d'$.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die kalte Luft unten in den Schornstein bei B ein- und die warme Luft oben bei A aus demselben ausströmt, wird also bedingt durch die Größe $d - d'$, d. h. durch die Differenz zwischen dem Gewichte der äußeren kalten und der inneren warmen Luftsäule; der Unterschied dieser Gewichte ist aber um so größer, also der Zug um so stärker, je mehr die Temperatur der Luft im Schornsteine die der äußeren Luft übertrifft, und je größer die senkrechte Höhe des Schornsteines ist, d. h. je höher der Punkt A über B liegt, Sätze, welche durch die tägliche Erfahrung vollkommen bestätigt werden.

Es erklärt sich hieraus auch, warum der nämliche Ofen stärker bei kalter als bei milder Witterung, besser bei lebhaftem als bei schwachem Feuer zieht u. dgl. m.

Sollte ein Schornstein irgendwo mit einer Seitenöffnung versehen sein, durch welche die Luft in hinreichender Menge abfließen könnte, so würde die Stärke des Zuges nicht mehr durch die Höhe des Schornsteines überhaupt, sondern nur durch die senkrechte Höhe dieser Öffnung über dem Feuerraume bestimmt werden.*)

*) Auch wenn sich unterhalb der Stelle, an welcher die Ofenröhre in den Schornstein mündet, eine Öffnung in demselben befindet, so [illegible] geschwächt, indem dann nicht bloß warme Luft durch die Ofenröhre, sondern auch [illegible] in den Schornstein einströmt.

Ganz auf den nämlichen Gründen, welche wir soeben für den Zug in den Schornsteinen entwickelt haben, beruht auch der besonders zur Winterzeit lebhafte Zug an den Fugen nicht dicht schließender Thüren und Fenster, durch welchen ein beständiger Wechsel der Luft im Zimmer herbeigeführt und die durch das Atmen und durch Ausdünstungen verdorbene innere Luft durch reine Luft von außen erneuert wird. Nehmen wir an, AB (Fig. 322) stelle nicht mehr einen geheizten Schornstein, sondern ein erwärmtes Zimmer, A eine nahe an der Decke, B eine nahe am Boden befindliche Öffnung vor, so übertrifft, wie wir eben gezeigt haben, oben bei A der innere Luftdruck den äußeren, weshalb hier die wärmere Luft des Zimmers nach außen strömt, während unten bei B der äußere Luftdruck den inneren übertrifft und daher kältere Luft einwärts strömt. Zwischen A und B muß es offenbar eine Stelle geben, wo der äußere und innere Luftdruck gleiche Größe haben und folglich durch eine an dieser Stelle angebrachte Öffnung gar keine Strömung, weder nach außen noch nach innen, stattfinden würde.

Von der Übereinstimmung dieser theoretischen Betrachtungen mit der Erfahrung kann man sich leicht dadurch überzeugen, daß man zur Winterzeit längs der Kante einer nicht dicht schließenden Thüre eines geheizten Zimmers eine Lichtflamme langsam auf- und niederführt; diese wird oben am stärksten nach außen, unten am stärksten nach innen abgelenkt; die eine wie die andere Ablenkung nimmt mit der Entfernung vom oberen und unteren Rande immer mehr ab; ungefähr in der Mitte giebt es eine Stelle, an welcher gar keine Ablenkung der Lichtflamme, also auch kein Zug stattfindet.

Obschon die Stärke des Zuges im allgemeinen mit der Höhe des Schornsteines wächst, so hat dieses doch in dem Umstande eine gewisse Grenze, daß die Luft sich um so mehr abkühlt, je höher der Schornstein ist, und daß mit der Länge des Schornsteines auch die Reibung der Luft an den Seitenwänden desselben zunimmt. Auch die Weite des Schornsteines ist nicht ohne Einfluß auf den Zug; ist derselbe zu eng, so wird für die Unterhaltung eines größeren Feuers nicht genug Luft in Bewegung gesetzt; ist aber das Feuer klein und schwach und der Schornstein zu weit, so wird die große Luftmasse in demselben nur schwach erwärmt und also nur ein schwacher Zug entstehen können. Da die Wärme der Luft im Schornsteine von unten nach oben abnimmt und die kältere Luft einen kleineren Raum einnimmt als die wärmere, so läßt man zweckmäßig die Schornsteine nach oben hin etwas schmäler zulaufen.

So wie wir gesehen haben, daß in einem Kanale, dessen Temperatur die der äußeren Luft übertrifft, ein Strömen der eingeschlossenen wärmeren Luft von unten nach oben stattfinden muß, so wird umgekehrt in einem Kanale, in dessen Innerem eine niedrigere Temperatur als außerhalb herrscht, sich die Luft in entgegengesetzter Richtung, also von oben nach unten bewegen müssen. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß aus Spalten und Höhlen an den Abhängen der Hochalpen, welche durch Höhlen und Klüfte mit den höher gelegenen, beständig mit Eis und Schnee bedeckten Teilen des Gebirges in Verbindung stehen, während des Sommers eine kalte Luft ausströmt, deren Temperatur bis auf 5°—8° herabgeht, während die Luft im Freien eine Temperatur von 15°—18° zeigt. Die Eingeborenen benutzen diesen Umstand, um in jenen Höhlen Milch, Fleisch und andere Speisen längere Zeit aufzubewahren.

§. 234. Von den herrschenden Winden. Durch die ungleiche Erwärmung der Luft werden auch, wie schon im vorhergehenden §. erwähnt, die größeren Strömungen in derselben, die Winde, hervorgebracht. — Ein besonders deutliches Beispiel bieten zunächst die Land- und Seewinde dar, welche an den Küsten des Meeres, auch wohl größerer Seen, in regelmäßigem Wechsel am Tage von der See

her, des Nachts von dem Lande her wehen. Im allgemeinen sind diese Winde nur schwach; sie zeigen sich am deutlichsten in der heißen Zone, jedoch auch hier nur dann, wenn kein anderer stärkerer Wind vorherrscht. Sie erstrecken sich nicht tief landeinwärts, sondern sind auf die Küsten beschränkt und werden auch auf der See in größerer Entfernung von der Küste nicht wahrgenommen. — Der von der See nach dem Lande wehende Wind beginnt in der Regel einige Stunden nach Sonnenaufgang, erreicht gegen zwei bis drei Uhr nachmittags seine größte Stärke und hört mit Sonnenuntergang wieder auf. Der vom Lande nach der See wehende Wind beginnt etwa gegen Mitternacht, weht am lebhaftesten gegen Sonnenaufgang und hört, wenn die Sonne eine gewisse Höhe erreicht hat, wieder auf. Beide, Land- und Seewind, sind durch Windstille voneinander getrennt.

Die Erklärung dieser Winde ergiebt sich sehr leicht aus den Ungleichheiten der Temperaturen des Landes und des Wassers und der über denselben lagernden Luftschichten am Tage und während der Nacht. Am Tage wird nämlich das feste Land stärker als das Wasser durch die Sonnenstrahlen erwärmt. Infolge hiervon erlangt auch die über dem Lande ruhende Luftsäule eine höhere Temperatur als die Luft über dem Wasser; es muß daher aus denselben Gründen, welche wir oben in Hinsicht der nicht dicht schließenden Thüre eines geheizten Zimmers entwickelt haben, oben die wärmere Luft über dem Lande nach der See zu abfließen, unten aber die kältere Luft von der See her in die wärmere über dem Lande eindringen. Während der Nacht kühlen sich sowohl das feste Land als auch das Wasser durch Strahlung (s. §. 249) ab; indem aber die obersten abgekühlten Wasserschichten vermöge ihres größeren specifischen Gewichtes sich senken und durch emporsteigende wärmere ersetzt werden, erkaltet die Oberfläche des Wassers weniger stark als die des festen Landes. Es müssen daher während der Nacht die entgegengesetzten Strömungen von denen am Tage eintreten.

Zu den regelmäßigen Winden gehören ferner die Monsune, welche während des Sommers mehrenteils von der See nach dem Lande, während des Winters in der entgegengesetzten Richtung wehen. Dieselben sind besonders ausgezeichnet in dem indischen Meere und entstehen durch die ungleichen Wärmeverhältnisse des Meeres und des asiatischen Kontinents während der Sommer- und Wintermonate in ganz ähnlicher Art, wie wir dies für die abwechselnd am Tage und während der Nacht wehenden Land- und Seewinde gezeigt haben.

Das Verhältnis ungleicher Temperatur, welches in den angeführten Beispielen während des Tages und der Nacht, des Sommers und des Winters wechselt, findet durch das ganze Jahr zwischen den Gegenden in der Nähe des Äquators und denjenigen höherer Breiten statt und muß folglich eine fortwährende zwiefache Strömung in der Luft herbeiführen. Es muß nämlich aus den im vorhergehenden entwickelten Gründen in den oberen Regionen beständig die wärmere Luft von dem Äquator nach den Polen zu fließen, unten aber die kältere Luft aus höheren Breiten nach dem Äquator hinströmen.

Infolge der Kugelgestalt der Erde gelangt nun die Luft in den oberen Regionen auf ihrem Wege vom Äquator nach den höheren Breiten in einen immer

kleineren Raum; sie muß sich daher in einer gewissen Breite, da sie der Schwere unterworfen bleibt, aufstauen und niedersenken. Dies geschieht zu beiden Seiten des Äquators über den Zonen zwischen dem 30. und 40. Breitengrade (ungefähr). Dementsprechend zeigt die mittlere Luftdruckverteilung an der Oberfläche der Erde zwei Maxima des Luftdrucks über jenen Zonen (von etwa 765 mm), eine allmähliche Abnahme desselben von diesen Zonen aus nach beiden Seiten und ein Minimum am Äquator (von 760 mm). Die Luft in den Tropen beschreibt daher einen vollständigen Kreislauf zwischen dem Äquator und dem 30. Breitengrade: — Sie steigt am Äquator empor, fließt oben nach den Polen zu, senkt sich beim 30. Breitengrade wieder und kehrt von dort zum Äquator zurück.

Demnach würden wir in der heißen Zone auf der Nordseite des Äquators einen beständigen Nordwind, auf der Südseite einen Südwind erwarten. Hiervon bringt jedoch die Achsendrehung der Erde eine bedeutende Abweichung hervor. In §. 40, d haben wir gesehen, daß sich die Schwingungsebene eines Pendels, welche in Wirklichkeit infolge der Trägheit des Pendels ihre Lage im Raume unverändert beibehält, wegen der Achsendrehung der Erde in demselben Sinne zu drehen scheint, wie aus dem entsprechenden Grunde die Sonne im Laufe des Tages, daß diese Drehung in einer Stunde an den Polen 15°, in unseren Breiten etwa 12° beträgt und am Äquator gleich Null ist. Ganz ebenso wird ein Luftteilchen, welches nach einer bestimmten Himmelsgegend (z. B. nach der aufgehenden Sonne) hin in Bewegung gesetzt worden ist, scheinbar eine Ablenkung aus dieser Richtung erfahren, welche der scheinbaren Bewegung der Sonne entspricht, auf der nördlichen Halbkugel, also von der Himmelsgegend, nach welcher es ursprünglich gerichtet war, immermehr nach rechts abweichen, auf der südlichen Halbkugel dagegen immermehr nach links. Diese Abweichung tritt am stärksten an den Polen auf, nimmt nach dem Äquator hin allmählich ab und verschwindet am Äquator selbst. Es müssen daher auch die beständigen Strömungen der kälteren Luft aus höheren Breiten nach dem Äquator hin bei ihrem Fortschreiten mehr und mehr nach Westen hin abgelenkt werden, also immer mehr eine östliche Richtung annehmen, je weiter sie aus höheren Breiten in niedere vordringen.

Die beiden Ströme der Luft in den unteren Regionen an der Erdoberfläche zeigen sich vollkommen deutlich in den zu beiden Seiten des Äquators in der heißen Zone das ganze Jahr hindurch in nord- und südöstlicher Richtung wehenden Passatwinden, welche in dem vorher Gesagten ihre vollständige Erklärung finden.

Beide Passate sind durch einen Gürtel von etwa 6° (mittlere) Breite getrennt, in welchem Windstillen oder nur schwache, veränderliche Winde herrschen. In dieser Zone der sogenannten Windstillen oder Kalmen, in welcher die Luft durch die Sonnenstrahlen am stärksten erwärmt wird, hat der aufwärts gehende Luftstrom die größte Lebhaftigkeit, wodurch die Richtung der horizontalen Strömung gestört oder aufgehoben wird.

Die am Äquator emporgestiegene wärmere Luft muß nach dem Vorhergehenden in den oberen Regionen in einer den Passatwinden entgegengesetzten Richtung abfließen, also dem unteren nordöstlichen Passate in den oberen Regionen ein Südwestwind,

dem südöstlichen Passate ein Nordwind entsprechen. Erfahrungen, welche sich für das Vorhandensein dieser oberen westlichen Ströme anführen lassen, sind folgende:

Auf der Spitze des Piks von Teneriffa (3700 m) trifft man gewöhnlich westliche Winde an, während auf dem Meere in der Nähe der Insel der Nordostpassat der herrschende Wind ist. Man kennt Beispiele, daß in Gegenden, in denen unausgesetzt der östliche Passat weht, von Vulkanen ausgeworfene Asche (1811 von dem Vulkan Morne Garon auf der Insel St. Vincent und 1835 von dem Vulkan Coseguina auf der Landenge von Mittelamerika) an östlich gelegenen, selbst mehr als 100 Meilen entfernten Orten, wohin dieselbe nur durch die obere westliche Strömung geführt sein konnte, niedergefallen ist.

Halley hat zuerst (1686) auf die ungleiche Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen als die Ursache der Passatwinde hingewiesen; die vollständige zugleich auf die Achsendrehung der Erde begründete Erklärung ist jedoch erst später (1735) von Hadley gegeben worden.

Der Kalmengürtel und die Passatwinde zeigen sich in ihrer vollen Beständigkeit nur auf großen Meeren; im Innern des Landes und selbst in der Nähe der Küsten wird ihre Regelmäßigkeit durch andere Luftströmungen gestört. Nur in ganz flachen Gegenden, z. B. in den Ebenen Südamerikas, in dem sich von Osten nach Westen erstreckenden Flußbette des Amazonenstromes, dringt der Ostpassat bis tief in das Land hinein. Auf dem atlantischen und stillen Ozean fällt das Gebiet der Kalmen im allgemeinen auf die Nordseite des Äquators; von den Passatwinden erstreckt sich der nordöstliche bis auf ungefähr 30° nach Norden, der südöstliche aber, welcher nach Norden mehrfach über den Äquator hinübergreift, nur ungefähr bis zum 25. Breitengrade nach Süden. Diese nördliche Verschiebung der Kalmen, wie der Passate findet in der größeren Ländermasse der nördlichen Erdhälfte und der stärkeren Erwärmung derselben durch die Sonnenstrahlen ihre Erklärung. Die angegebenen Grenzen sind ferner nach dem wechselnden Stande der Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten einigen Schwankungen unterworfen. — In dem nördlichen indischen Ozean wird der Nordost-Passat durch die dort herrschenden Monsune wesentlich gestört. In unserem Sommer verdrängt ihn der von der See herwehende Monsun, welcher durch den Einfluß der Achsendrehung der Erde eine südwestliche Richtung erhält, vollständig, während er im Winter durch den vom Lande kommenden Nordost-Monsun bedeutend verstärkt wird.

Bei den geringen Temperaturänderungen und den gleichmäßigen Luftströmungen vollziehen sich die Witterungserscheinungen in den Tropen im allgemeinen mit großer Regelmäßigkeit. In dem Gebiete der Windstillen finden tagtäglich die heftigsten Regengüsse und elektrischen Entladungen statt, indem die von dem aufsteigenden warmen Luftstrome in reichlichster Menge emporgehobenen Wasserdämpfe durch Abkühlung in den oberen kälteren Regionen wieder verdichtet werden; dagegen herrscht in den Gegenden, in welchen der Passat andauernd weht, klares, heiteres Wetter, da es hier an der Vermischung von verschiedenen Luftströmungen fehlt; Regen gehört zu den Seltenheiten; nur wenn die Sonne in das Zenith rückt, stellen sich mit dem Aufhören des Passats auch hier die täglichen Gewitterregen ein. Zuweilen wird die gleichmäßige Witterung in einzelnen Gegenden durch Orkane gestört, die mit furchtbarer Heftigkeit auftreten (s. d. Anm. d. folg. §.).

***§. 235. Fortsetzung. Buys Ballots Windregel.** Während in den Tropen die gleichmäßige Wärmeverteilung durch das ganze Jahr hindurch im allgemeinen einen sehr einfachen Verlauf der Luftströmungen hervorruft, findet in den höheren Breiten infolge des Temperaturgegensatzes der Jahreszeiten und der ungleichen Erwärmung von Festland und Meer ein mannigfaltiger Wechsel der verschiedenartigsten Winde statt.

Einen tieferen Einblick in den Zusammenhang dieser scheinbar ganz regellosen Luftströmungen erlangte man erst in neuerer Zeit, als man anfing, lediglich die Luftdruckverteilung an der Oberfläche der Erde zum Ausgangspunkte für die Erklärung der Winde zu nehmen.

Offenbar kann die Luft nur dann im Zustande der Ruhe sich befinden, wenn der Druck, welchen dieselbe vermöge ihres Gewichtes ausübt, für alle Punkte einer beliebigen Horizontalebene der nämliche ist, während er mit wachsender Höhe des Ortes, wie wir oben in §. 64 gesehen haben, in gesetzmäßiger Weise abnimmt. Ist dagegen der Luftdruck an Orten, welche gleich hoch über dem Meeresspiegel gelegen sind, ein verschiedener, so wird die Luft von den Punkten höheren Druckes nach denjenigen niederen Druckes strömen müssen, bis daß eine Ausgleichung des Unterschiedes stattgefunden hat. Man kann daher aus den Barometerbeobachtungen, welche gleichzeitig an benachbarten Orten angestellt worden sind, einen Schluß auf die Windrichtung ziehen, vorausgesetzt, daß diese Beobachtungen bei verschiedener Höhenlage zuvor auf den Meeresspiegel reduziert worden sind (s. §. 64, Anm.). Weist die Luftdruckverteilung insbesondere einen Punkt auf, von welchem der Druck nach den verschiedenen Richtungen hin zunimmt, ein barometrisches Minimum, so wird die Luft von allen Seiten auf diesen Punkt zuströmen müssen; von einem barometrischen Maximum dagegen, bei welchem der Druck nach allen Richtungen hin abnimmt, muß die Luft nach allen Seiten hin nach außen abfließen.

Die Richtung dieser Strömungen wird aber noch wesentlich durch die Achsendrehung der Erde beeinflußt. Ganz ebenso, wie wir dies im vorhergehenden §. bei den Passatwinden gesehen haben, erleiden die größeren Luftströmungen überhaupt eine Ablenkung aus ihrer Bahn im Sinne der scheinbaren Bewegung der Sonne, also auf der nördlichen Halbkugel nach rechts (auf der südlichen nach links). Für die nördliche Halbkugel kann man nach Buys Ballot, welcher diese Einwirkung der Erdrotation zuerst (1857) durch zahlreiche Beobachtungen zweifellos feststellte, als allgemeine barische Windregel den Satz aussprechen:

Stellt ein Beobachter sich so auf, daß er dem Winde den Rücken zukehrt, so hat er das Minimum des Luftdrucks zur Linken etwas vor sich, (das Maximum zur Rechten etwas hinter sich).

Mit Hülfe dieser Regel läßt sich aus der Verteilung des Luftdrucks auf die Windrichtung schließen und umgekehrt. Insbesondere erlangen wir durch Anwendung derselben auf die mittlere Luftdruckverteilung wichtige Aufschlüsse über die vorherrschenden Winde in den höheren Breiten. Da der mittlere Luftdruck an der Oberfläche der Erde von den beiden Maximalzonen zwischen dem 30. und 40. Breitengrade nach den Polen zu abnimmt, so würde man in höheren Breiten eine Strömung nach den Polen zu erwarten und zwar infolge der Erdrotation aus westlicher Richtung. Thatsächlich sind auch in den gemäßigten Zonen beider Halbkugeln westliche Winde vorwiegend, insbesondere auf den großen Meeresflächen der südlichen, wo sie sich ungestört entfalten können, während im übrigen, zumal auf der nördlichen Halbkugel, die Verteilung der Festländer und Ozeane für die vorherrschende Luftströmung maßgebend ist.

Wegen der ungleichen Erwärmung ausgedehnter Land- und Wassermassen lagern im Sommer über größeren Kontinenten Luftdruckminima, über den Meeren Luftdruckmaxima; umgekehrt ist im Winter über den Kontinenten ein hoher Barometerstand, über den Meeren dagegen ein niedriger. — Insbesondere zeigt sich im Winter ein

deutlich ausgeprägtes Minimum über dem atlantischen Ozean in der Nähe von Island, welches im Verein mit dem hohen Barometerstande im Süden um den 30. Breitengrad die Witterung über fast ganz Europa beherrscht. Unter dem Einflusse dieser beiden Gebiete wehen daselbst vorzugsweise Winde, welche das Minimum zur Linken, das Maximum zur Rechten haben; es sind dies Südwestwinde, welche vom Ozean warme und feuchte Luft mit sich führen.

Anders liegen die Verhältnisse in den östlichen Gebieten von Nordamerika, welche sich an der Westseite des atlantischen Minimums und an der Ostseite eines im Innern von Nordamerika bestehenden Maximums befinden und infolgedessen dem barischen Windgesetze entsprechend vorwiegend Winde aus nordwestlicher Richtung haben. Da diese aus dem nördlich gelegenen Innern des Landes kalte, trockene und klare Luft herbeibringen, so ist der Temperaturgegensatz zwischen der Westküste Europas und der Ostküste Nordamerikas unter gleicher geographischer Breite erklärlich.*)

Im Sommer ist das Minimum bei Island verschwunden, das Maximum im Süden aber in der Nähe der Azoren bis zum 40. Breitengrade vorgerückt, weswegen auch dann noch über Westeuropa vorwiegend südwestliche Winde wehen; doch stellen sich auch nicht selten unter dem Einflusse eines tiefen Minimums über dem östlich gelegenen Kontinente nordwestliche Winde mit unfreundlicher Witterung ein. — Gänzlich verändert haben sich dagegen die Luftströmungen an der Ostseite von Nordamerika, woselbst in der heißen Jahreszeit, da das Minimum über dem Meere verschwunden, dagegen ein neues im Innern des Festlandes entstanden ist, Strömungen vorherrschen, welche dieses letztere zur Linken haben. Im Sommer bringen daher Winde aus südöstlicher Richtung von der See her feuchtes, kühles Wetter in dieselben Gegenden, welche im Winter durch nordwestliche Winde aus dem Innern des Landes in arktische Kälte eingehüllt werden.

In unseren Gegenden bringen östliche Winde (Landwinde) im allgemeinen einen hohen, westliche (Seewinde) einen niedrigen Barometerstand, jene die wenigsten, diese die meisten Niederschläge, Regen oder Schnee. Bei heiterem Himmel sind im Winter östliche Winde mit hohen Kältegraden, im Sommer mit großer Hitze verbunden; westliche Winde erzeugen im Winter mildes, im Sommer kühles Wetter. (Vergl. auch §. 63.)

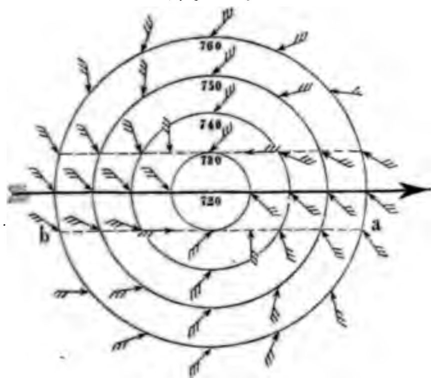
Die Auffindung des im obigen erörterten Windgesetzes, sowie anderer gesetzmäßiger Beziehungen zwischen den wechselvollen Wind- und Wetterverhältnissen unserer Breiten verdankt die neuere Meteorologie wesentlich dem sorgfältigen Studium der gleichzeitig über ein größeres Gebiet der Erde verbreiteten Witterungserscheinungen. Um ein übersichtliches Bild dieser Verhältnisse zu erlangen, werden dieselben in Landkarten des betreffenden Gebietes eingetragen. Insbesondere stellt man die Luftdruckverteilung auf die Art dar, daß man Orte, an welchen ein bestimmter (auf den Meeresspiegel reduzierter) Barometerstand (z. B. 760 mm) stattfindet, durch eine zusammenhängende Linie verbindet; desgleichen diejenigen, bei welchen ein anderer bestimmter Barometerstand (z. B. 755 mm) vorhanden ist, u. s. w. Die auf die angegebene Weise erhaltenen Linien gleichen Luftdrucks führen den Namen Isobaren.

---

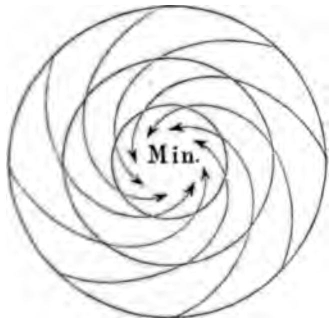
*) Die mittlere Januartemperatur beträgt in Newyork unter 41° nördlicher Breite — 1°, in Neapel unter gleicher Breite + 8°; von großem Einfluß ist auch, daß die Meeresströme, wie der Golfstrom, in der Richtung der vorherrschenden W[illegible]en.

Solche in fortgesetzter Folge tagtäglich entworfene Wetterkarten zeigen deutlich, daß unsere **Witterung von einzelnen Gebieten** tiefsten und höchsten Luftdrucks beherrscht wird, welche ihre Lage im Laufe der Tage mehr oder weniger schnell ändern. Sehr häufig nimmt der Luftdruck von einem Punkte aus nach allen Richtungen zu, von einem anderen nach allen Seiten hin ab. Solche Gebiete, welche oft einen Durchmesser von mehreren hundert Meilen haben, treten auf den Karten dadurch hervor, daß sich die Isobaren um dieselben als geschlossene konzentrische Kurven hinziehen. Fig. 323 zeigt eine schematische Darstellung eines wandernden Minimums, bei welchem die Isobaren unter der Annahme, daß der Luftdruck nach allen Seiten hin gleichmäßig zunimmt, durch Kreise (mit den zugehörigen Barometerständen von 10 zu 10 mm), die Windrichtung durch kleine Pfeile angegeben sind, während der große Pfeil die Richtung bezeichnen soll, in welcher das Minimum sich fortbewegt. In ein solches Gebiet tiefsten Barometerstandes, welches man auch als barometrische Depression bezeichnet, dringt die Luft von allen Seiten nach innen, aber nicht in einer Richtung senkrecht zu den Isobaren, in welcher offenbar die stärkste Druckabnahme stattfindet, sondern von dieser Richtung nach rechts abgelenkt. Daher wehen auch auf der Südseite südwestliche und westliche, auf der Westseite nordwestliche und nördliche, auf der Nordseite nordöstliche und östliche und auf der Ostseite südöstliche und südliche Winde. Da nun die Luft auf ihrem Wege stets wieder zu dem links gelegenen Punkte niedrigsten Barometerstandes hingezogen wird, so führt sie eine drehende Bewegung nach links hin aus, wie die schematische Fig. 324 zeigt, in welcher die gekrümmten Pfeile die Bahnen der einzelnen Luftteilchen angeben sollen. Diese Luftbewegung um ein barometrisches Minimum bezeichnet man als Wirbelwind oder Cyklone. — Bei einem barometrischen Maximum fließt andererseits die Luft nach allen Seiten unter beständiger Ablenkung nach rechts hin ab, also in nach rechts gekrümmten Bahnen, wie Fig. 325 zeigt. Im Gegensatz zur Cyklone heißt die Luftbewegung um ein barometrisches Maximum Anticyklone. Wir erhalten somit das wichtige Resultat:

(Fig. 323.)

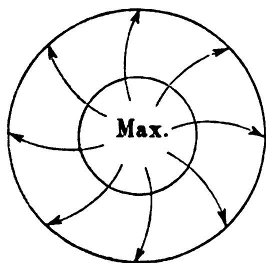


(Fig. 324.)



Bei einem barometrischen Minimum strömt die Luft von allen Seiten nach innen auf Bahnen, welche der Bewegung des Uhrzeigers entgegengesetzt gekrümmt sind; bei einem barometrischen Maximum strömt die Luft an allen Seiten nach außen auf Bahnen, welche der Bewegung eines Uhrzeigers entsprechend gekrümmt sind.

(Fig. 325.)



Die Größe der Ablenkung richtet sich einmal, wie wir schon gesehen haben, nach der geographischen Breite des Ortes, sodann aber auch wesentlich nach der Geschwindigkeit, mit welcher die Luftströmung stattfindet; sie wächst mit dieser, sodaß bei heftigen Stürmen die Windrichtung nahezu den Isobaren parallel verläuft. Diese Geschwindigkeit, mit anderen Worten die Stärke des Windes, hängt von der Luftdruckdifferenz ab, welche in der Richtung der größten Druckabnahme, also senkrecht zu den Isobaren zwischen zwei benachbarten Orten stattfindet; sie ist daher um so größer, je näher die Isobaren zusammenrücken, um so geringer, je weiter sie auseinander treten. Dieser Unterschied, in einer Richtung senkrecht zu den Isobaren gemessen und auf eine bestimmte Entfernung, gewöhnlich auf 1° (= 15 Meilen) bezogen,

wird als barometrischer **Gradient** bezeichnet. Derselbe hat für die Luftbewegung eine ähnliche Bedeutung, wie das Gefälle für die Stromgeschwindigkeit. Beträgt er über 4,5 mm, so ist die Luftbewegung stürmisch. — Bei einem barometrischen Maximum sind die Gradienten gewöhnlich klein, sodaß die Isobaren weit auseinander treten und nur schwache Strömungen vorhanden sind, welche vielfach infolge lokaler Einflüsse Abweichungen von der Buys Ballot'schen Windregel zeigen. Bei einer Depression sind dagegen die Gradienten im allgemeinen stärker, die Isobaren dichter gedrängt; es herrscht in dem Gebiete eine lebhafte Luftbewegung, welche sich namentlich an der Vorderseite oftmals in heftigen Stürmen kundgiebt.

Während die barometrischen Maxima den Charakter des Beständigen an sich tragen, meist längere Zeit über derselben Gegend andauern und sich nur langsam fortbewegen, gilt im allgemeinen das Umgekehrte von einer Depression, worauf wesentlich die Unbeständigkeit und Launenhaftigkeit unseres Wetters beruht. Die meisten Depressionen, welche die Witterung unserer Gegend beeinflussen, kommen von dem atlantischen Ozean her, erscheinen zunächst westlich von Irland und wandern in einer mehr oder weniger **östlichen** Richtung nach Skandinavien und in das Innere von Rußland, woselbst sie sich allmählich ausfüllen und verschwinden. Infolge dieser Wanderung muß die Windrichtung an Orten, über welche die Depression hinzieht, in ganz bestimmter Weise sich ändern. Geht das Centrum, welches in der Richtung von Westen nach Osten fortschreiten möge, nördlich von einem in dem Bereich der Depression gelegenen Orte a (Fig. 323) vorbei, so wird an diesem Orte die Windfahne der Reihe nach die Richtung der Pfeile annehmen, durch welche auf der Linie ab von a nach b hin die Richtung des Windes angedeutet ist. Es wird sich also der Wind, welcher von Südost her einsetzt, durch Süd und West mit dem weiteren Fortschreiten der Depression nach Nordwest (also mit der Sonne) drehen. Hierin liegt das schon früher von **Dove** erkannte **Winddrehungsgesetz** begründet, demzufolge der Wind auf der nördlichen Halbkugel sich im allgemeinen mit der Sonne dreht. Es gilt dieses Gesetz jedoch nur für Gegenden, wie die unsrigen, welche sich im Süden der vorbeiziehenden Depressionen befinden, während für ein nördlich gelegenes Gebiet, wie dies aus Fig. 323 leicht zu ersehen ist, die Drehung des Windes in entgegengesetztem Sinne stattfindet. An einem Orte, über welchen sich das Centrum selbst fortbewegt, wird der zunächst an der Vorderseite wehende Südost nach einer kleinen Pause, während welcher sich die Mitte des Wirbels über dem Orte befindet, in den auf der Rückseite wehenden Nordwest umspringen.

In einem Depressionsgebiete fließt die Luft von allen Seiten nach innen; da nun trotzdem das barometrische Minimum längere Zeit anhält, so muß in der Mitte des Wirbels ein **aufsteigender** Strom fortdauernd die zugeführten Luftmassen in die Höhe treiben, und dem entsprechend in den oberen Schichten die emporgetriebene Luft wieder nach außen hin abfließen. Andererseits muß in einem barometrischen Maximum, bei welchem oft viele Tage hindurch der Wind nach außen weht, ohne daß das Maximum wesentlich an Stärke abnimmt, immerfort ein **Niedersinken** von Luftmassen stattfinden, welche in den oberen Regionen dem Maximum zuströmen. Demnach würde zwischen den Gebieten niedrigsten und höchsten Luftdrucks ein fortwährender Luftaustausch stattfinden. Hierauf deuten auch die in neuerer Zeit gemachten Beobachtungen über die Bewegung der höchsten Wolken, der Federwolken (Cirren, §. 245, Anm.), welche gewöhnlich eine Depression in den höchsten Luftschichten an der Außenseite begleiten und in einer Richtung von dem Innern der Depression nach einem Maximum hinziehen.*)

In dem Vorhandensein dieser auf- und absteigenden Ströme finden auch die verschiedenen Witterungserscheinungen, welche in einem barometrischen Minimum und Maximum stattfinden, ihre Erklärung. Im Innern einer Depression herrscht meist trübes, regnerisches Wetter, da die mit der aufsteigenden Luft emporgeführten Wasserdämpfe in den höheren Schichten sich abkühlen und verdichten; starke Niederschläge finden insbesondere an der Vorderseite (Ostseite) statt, wo die durch südliche bis westliche Winde vom Meere herbeigeführte warme, feuchte Luft emporsteigt, während sich an der Rückseite unter westlichen bis nördlichen Winden kälteres, veränderliches Wetter einstellt, bei welchem Sonnenschein mit heftigen Regenschauern abwechselt. — Im Gegensatz zu einer Depression zeichnet sich

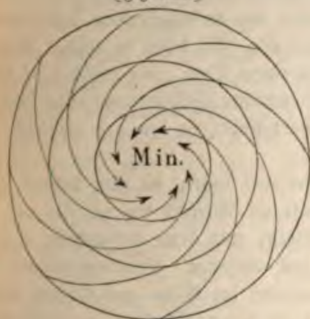
*) Das Erscheinen von Federwolken ist daher häufig ein Zeichen für das F[illegible]n einer *Depression, also* für den Eintritt schlechten Wetters.

Solche in fortgesetzter Folge tagtäglich entworfene **Wetterkarten** zeigen deutlich, daß unsere Witterung von einzelnen Gebieten tiefsten und höchsten Luftdrucks beherrscht wird, welche ihre Lage im Laufe der Tage mehr oder weniger schnell ändern. Sehr häufig nimmt der Luftdruck von einem Punkte aus nach allen Richtungen zu, von einem anderen nach allen Seiten hin ab. Solche Gebiete, welche oft einen Durchmesser von mehreren hundert Meilen haben, treten auf den Karten dadurch hervor, daß sich die Isobaren um dieselben als geschlossene konzentrische Kurven hinziehen. Fig. 323 zeigt eine schematische Darstellung eines **wandernden Minimums**, bei welchem die Isobaren unter der Annahme, daß der Luftdruck nach allen Seiten hin gleichmäßig zunimmt, durch Kreise (mit den zugehörigen Barometerständen von 10 zu 10 mm), die Windrichtung durch kleine Pfeile angegeben sind, während der große Pfeil die Richtung bezeichnen soll, in welcher das Minimum sich fortbewegt. In ein solches Gebiet tiefsten Barometerstandes, welches man auch als barometrische **Depression** bezeichnet, dringt die Luft von allen Seiten nach innen, aber nicht in einer Richtung senkrecht zu den Isobaren, in welcher offenbar die stärkste Druckabnahme stattfindet, sondern von dieser Richtung nach rechts abgelenkt. Daher wehen auch auf der Südseite südwestliche und westliche, auf der Westseite nordwestliche und nördliche, auf der Nordseite nordöstliche und östliche und auf der Ostseite südöstliche und südliche Winde. Da nun die Luft auf ihrem Wege stets wieder zu dem links gelegenen Punkte niedrigsten Barometerstandes hingezogen wird, so führt sie eine drehende Bewegung nach links hin aus, wie die schematische Fig. 324 zeigt, in welcher die gekrümmten Pfeile die Bahnen der einzelnen Luftteilchen angeben sollen. Diese Luftbewegung um ein barometrisches Minimum bezeichnet man als **Wirbelwind** oder **Cyklone**. — Bei einem barometrischen Maximum fließt andererseits die Luft nach allen Seiten unter beständiger Ablenkung nach rechts hin ab, also in nach rechts gekrümmten Bahnen, wie Fig. 325 zeigt. Im Gegensatz zur Cyklone heißt die Luftbewegung um ein barometrisches Maximum **Anticyklone**. Wir erhalten somit das wichtige Resultat:

(Fig. 323.)



(Fig. 324.)



Bei einem barometrischen Minimum strömt die Luft von allen Seiten nach innen auf Bahnen, welche der Bewegung des Uhrzeigers entgegengesetzt gekrümmt sind; bei einem barometrischen Maximum strömt die Luft an allen Seiten nach außen auf Bahnen, welche der Bewegung eines Uhrzeigers entsprechend gekrümmt sind.

(Fig. 325.)



Die Größe der Ablenkung richtet sich einmal, wie wir schon gesehen haben, nach der geographischen Breite des Ortes, sodann aber auch wesentlich nach der Geschwindigkeit, mit welcher die Luftströmung stattfindet; sie wächst mit dieser, sodaß bei heftigen Stürmen die Windrichtung nahezu den Isobaren parallel verläuft. Diese Geschwindigkeit, mit anderen Worten die Stärke des Windes, hängt von der Luftdruckdifferenz ab, welche in der Richtung der größten Druckabnahme, also senkrecht zu den Isobaren zwischen zwei benachbarten Orten stattfindet; sie ist daher um so größer, je näher die Isobaren zusammenrücken, um so geringer, je weiter sie auseinander treten. Dieser Unterschied, in einer Richtung senkrecht zu den Isobaren gemessen und *auf* eine bestimmte Entfernung, gewöhnlich auf 1° (= 15 Meilen) bezogen,

wird. So wie das Eis die Temperatur von 0° erreicht hat, fängt es an zu schmelzen, und das Thermometer steigt nun nicht mehr, sondern bleibt eine längere Zeit unveränderlich auf Null Grad stehen, so lange nämlich, bis aller Schnee geschmolzen ist. Selbst wenn man, um den Schmelzungsprozeß zu beschleunigen, unter dem Gefäße Feuer, z. B. eine brennende Spirituslampe, anbringt, bleibt doch das Thermometer so lange auf Null Grad stehen, als noch ungeschmolzenes Eis vorhanden ist. Erst nachdem alles Eis in Wasser verwandelt worden ist, fängt das Thermometer wieder an zu steigen und fährt hiermit bis zu der Temperatur des Siedepunktes fort. Ist diese erreicht, so tritt zum zweiten Mal ein Stillstand ein. Während der ganzen Dauer des Siedens zeigt das Thermometer unveränderlich die nämliche Temperatur von 100 Grad und steigt erst dann wieder, wenn alles Wasser in Dampf verwandelt worden ist.

Da hiernach die Wärme, welche dem Wasser während des Schmelzens oder Siedens zugeführt wird, keine Erhöhung der Temperatur bewirkt, sondern lediglich zur Änderung des Aggregatzustandes verwendet wird, so nennt man dieselbe Schmelz- oder gebundene Wärme.

Wir berücksichtigen hier zunächst nur die beim Schmelzen gebundene Wärme. Wenn man 1 kg fein zerstoßenes Eis von 0° mit 1 kg Wasser von 80° (genauer 79,25°) vermischt, so erhält man 2 kg Wasser von 0°. Dieselbe Wärmemenge, welche dazu genügt hat, die Temperatur des einen kg Wasser um 80° zu erhöhen, wird also dazu verbraucht, um 1 kg Eis von 0° in 1 kg Wasser von 0° zu verwandeln. Diejenige Wärmemenge nun, welche die Temperatur von 1 kg Wasser von 0° bis 1° zu erhöhen imstande ist, wird eine Wärmeeinheit oder Kalorie genannt. Beim Schmelzen des Eises werden mithin (ungefähr) 80 Wärmeeinheiten gebunden.

Was wir vom Schmelzen des Eises gesagt haben, gilt im wesentlichen auch vom Schmelzen anderer festen Körper. Allemal wird bei dem Übergange eines festen Körpers in den flüssigen Zustand Wärme gebunden. Die Menge dieser Wärme ist für verschiedene Körper verschieden und beträgt z. B. für Schwefel 9,4 Wärmeeinheiten, d. h. dem bis unmittelbar unter die Temperatur des Schmelzpunktes erwärmten Schwefel muß, damit derselbe aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehe, noch eine Wärmemenge zugeführt werden, welche imstande ist, die Temperatur desselben Gewichtes Wasser von 0° bis 9,4° zu erhöhen. (Für Blei beträgt dieselbe 5,4, für Zink 28,1, für Silber 21,1, für Quecksilber 2,8 Wärmeeinheiten.) Von allen bis jetzt untersuchten Körpern hat das Wasser die größte Schmelzwärme.

Dieselbe Wärmemenge, welche beim Schmelzen eines festen Körpers gebunden wird, wird beim Übergange dieses Körpers aus dem flüssigen in den festen Zustand wieder frei, wie aus folgendem Versuche hervorgeht.

Gegen Erschütterung geschütztes Wasser kann, besonders wenn es durch Auskochen luftfrei gemacht ist*), ohne zu erstarren bis auf 10 oder mehr Grad unter Null erkalten. Hat man vorher in das Wasser ei[illegible]meter eingesenkt, und ist dieses

*) Vergl. die Anm. zu §. 232.

unter 0° herabgesunken, so erstarrt bei einer (hinreichend starken) Erschütterung oder noch besser, wenn man ein Stückchen Eis hineinbringt, ein Teil des Wassers; der andere Teil bleibt flüssig, und das in das Wasser eingetauchte Thermometer steigt rasch von — 10° bis auf 0°. Durch die beim Erstarren des einen Teiles frei werdende Wärme hat sich folglich die ganze Masse um 10° erwärmt.

Diese Erscheinung, daß 1 kg Wasser von 0° 80 Wärmeeinheiten mehr enthält als 1 kg Eis von 0°, daß also das Eis erst diese bedeutende Wärmemenge aufnehmen muß, um in Wasser verwandelt zu werden, und umgekehrt dem Wasser die nämliche Wärmemenge entzogen werden muß, wenn dasselbe zu Eis erstarren soll, ist im Haushalte der Natur von nicht geringer Wichtigkeit. Ohne diesen Umstand würde das Schmelzen des Eises und Schnees bei eintretender Frühlingswärme fast plötzlich erfolgen und meist von den verheerendsten Überschwemmungen begleitet sein. Ebenso würden, wenn mit dem beginnenden Winter die Lufttemperatur unter Null Grad herabgeht, die Flüsse und Seen äußerst rasch sich mit Eis bedecken und die Schiffahrt plötzlich unterbrochen werden u. dgl. m.

Auf der beim Schmelzen gebundenen Wärme beruhen auch die Mischungen, welche dazu dienen, künstliche Kälte zu erregen. Mischt man z. B. Kochsalz von gewöhnlicher Temperatur und Schnee mit einander, so sinkt die Temperatur der Mischung bis auf 10 und mehr Grad unter Null. Damit nämlich Schnee und Salz, welche eine große Neigung sich zu vereinigen haben, sich wirklich verbinden können, müssen erst beide aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehen, wozu die Aufnahme einer großen Menge Wärme erforderlich ist. — Umgekehrt wird Wärme frei, wenn zwei flüssige Körper oder ein fester und ein flüssiger Körper eine feste Verbindung eingehen, woraus sich die starke Erhitzung erklärt, wenn man gebrannten Kalk mit Wasser übergießt, welches sich mit dem Kalke zu einem festen Körper (Kalkhydrat) verbindet.

Auch bei dem Krystallisieren in Flüssigkeiten aufgelöster fester Körper wird Wärme frei.

Die Schmelzwärme des Wassers ist zuerst von dem Engländer Black 1763 nachgewiesen worden.

Wenn man in einem Medizingläschen eine Auflösung von einem Teile Wasser und zwei Teilen krystallisiertem Glaubersalz bis zum starken Sieden erhitzt, so daß in dem Fläschchen über der Auflösung ein luftleerer, nur mit Dämpfen erfüllter Raum entsteht, hierauf das Fläschchen rasch verkorkt und die allmählich erkaltende Auflösung gegen Erschütterung schützt, so beibt dieselbe flüssig. Öffnet man nach dem Erkalten das Fläschchen und taucht in die Auflösung ein Thermometer, so tritt eine rasche Krystallisation des Glaubersalzes und eine so merkliche Zunahme der Temperatur ein, daß dieselbe sich nicht bloß am Thermometer, sondern auch durch das Gefühl zu erkennen giebt. — Noch stärker ist die Temperaturerhöhung beim Erstarren des unterschwefligsauren Natrons, welchem man kein Wasser zuzusetzen hat, da es in seinem Krystallwasser schmilzt.

Die Landleute benutzen die beim Gefrieren des Wassers frei werdende Wärme, um in nicht tiefen Kellern Obst, Kartoffeln u. s. w. gegen Frost zu schützen, indem sie neben diese Gefäße mit Wasser stellen.

So wie wir oben gesehen haben, daß sich Wasser, wenn dasselbe gegen Erschütterung geschützt ist, ohne zu erstarren, erheblich unter Null abkühlen läßt, so gilt das nämliche auch von sehr heftig bewegtem Wasser, ferner von Wassermassen, welche einen sehr geringen Durchmesser haben, z. B. wenn das Wasser in feine Haarröhrchen eingeschlossen ist oder sich in sehr kleinen Tröpfchen auf einer Fläche, welche nicht von demselben benetzt wird, z. B. auf Sammet oder einer bestäubten Fläche befindet. Die Berührung mit einer feinen Nadelspitze bewirkt dann plötzlich das Erstarren des bis dahin flüssigen Tröpfchens. — Es erklärt sich hieraus, daß auch bei einer Lufttemperatur unter Null Grad noch Regen fallen kann.

wird. So wie das Eis die Temperatur von 0^0 erreicht hat, fängt es an zu schmelzen, und das Thermometer steigt nun nicht mehr, sondern bleibt eine längere Zeit unveränderlich auf Null Grad stehen, so lange nämlich, bis aller Schnee geschmolzen ist. Selbst wenn man, um den Schmelzungsprozeß zu beschleunigen, unter dem Gefäße Feuer, z. B. eine brennende Spirituslampe, anbringt, bleibt doch das Thermometer so lange auf Null Grad stehen, als noch ungeschmolzenes Eis vorhanden ist. Erst nachdem alles Eis in Wasser verwandelt worden ist, fängt das Thermometer wieder an zu steigen und fährt hiermit bis zu der Temperatur des Siedepunktes fort. Ist diese erreicht, so tritt zum zweiten Mal ein Stillstand ein. Während der ganzen Dauer des Siedens zeigt das Thermometer unveränderlich die nämliche Temperatur von 100 Grad und steigt erst dann wieder, wenn alles Wasser in Dampf verwandelt worden ist.

Da hiernach die Wärme, welche dem Wasser während des Schmelzens oder Siedens zugeführt wird, keine Erhöhung der Temperatur bewirkt, sondern lediglich zur Änderung des Aggregatzustandes verwendet wird, so nennt man dieselbe Schmelz- oder gebundene Wärme.

Wir berücksichtigen hier zunächst nur die beim Schmelzen gebundene Wärme. Wenn man 1 kg fein zerstoßenes Eis von 0^0 mit 1 kg Wasser von 80^0 (genauer $79{,}25^0$) vermischt, so erhält man 2 kg Wasser von 0^0. Dieselbe Wärmemenge, welche dazu genügt hat, die Temperatur des einen kg Wasser um 80^0 zu erhöhen, wird also dazu verbraucht, um 1 kg Eis von 0^0 in 1 kg Wasser von 0^0 zu verwandeln. Diejenige Wärmemenge nun, welche die Temperatur von 1 kg Wasser von 0^0 bis 1^0 zu erhöhen imstande ist, wird eine Wärmeeinheit oder Kalorie genannt. Beim Schmelzen des Eises werden mithin (ungefähr) 80 Wärmeeinheiten gebunden.

Was wir vom Schmelzen des Eises gesagt haben, gilt im wesentlichen auch vom Schmelzen anderer festen Körper. Allemal wird bei dem Übergange eines festen Körpers in den flüssigen Zustand Wärme gebunden. Die Menge dieser Wärme ist für verschiedene Körper verschieden und beträgt z. B. für Schwefel 9,4 Wärmeeinheiten, d. h. dem bis unmittelbar unter die Temperatur des Schmelzpunktes erwärmten Schwefel muß, damit derselbe aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehe, noch eine Wärmemenge zugeführt werden, welche imstande ist, die Temperatur desselben Gewichtes Wasser von 0^0 bis $9{,}4^0$ zu erhöhen. (Für Blei beträgt dieselbe 5,4, für Zink 28,1, für Silber 21,1, für Quecksilber 2,8 Wärmeeinheiten.) Von allen bis jetzt untersuchten Körpern hat das Wasser die größte Schmelzwärme.

Dieselbe Wärmemenge, welche beim Schmelzen eines festen Körpers gebunden wird, wird beim Übergange dieses Körpers aus dem flüssigen in den festen Zustand wieder frei, wie aus folgendem Versuche hervorgeht.

Gegen Erschütterung geschütztes Wasser kann, besonders wenn es durch Auskochen luftfrei gemacht ist*), ohne zu erstarren bis auf 10 oder mehr Grad unter Null erkalten. Hat man vorher in das Wasser ein Thermometer eingesenkt, und ist dieses

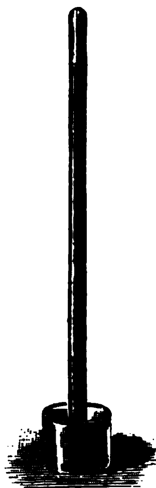
*) Vergl. die Anm. zu §. 232.

wir aus dem Geruche derselben auf eine Verdunstung, obschon wir nicht imstande sind, diese auf direktem Wege durch eine Abnahme des Gewichts nachzuweisen.

Die Verdunstung schreitet jedoch unter übrigens gleichen Umständen um so rascher fort, je höher die Temperatur des verdunstenden Körpers ist; sie erfolgt am raschesten beim Sieden einer Flüssigkeit. Der Grund hiervon ist, daß beim Sieden, wie wir schon im vorherg. §. gesehen haben, alle der Flüssigkeit zugeführte Wärme zur Dampfbildung, bei niedrigen Temperaturen aber nicht bloß hierzu, sondern auch zur Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit verwandt wird. Der zweite wesentliche Unterschied der Dampfbildung beim Sieden und bei niederen Temperaturen besteht darin, daß bei Temperaturen, welche unter dem Siedepunkte liegen, die Verwandlung der Flüssigkeit in Dampf nur an der Oberfläche erfolgt, beim Sieden aber sich auch im Innern der Flüssigkeit Dampfblasen bilden, welche durch ihr Aufsteigen das die Erscheinung des Siedens charakterisierende Aufwallen der Flüssigkeit hervorbringen. Den Grund dieser Verschiedenheit werden wir weiter unten (§. 240) kennen lernen.

§. 238. Spannkraft und Dichtigkeit der Dämpfe. Um die Gesetze der Dampfbildung zu erforschen, ist es notwendig, dieselbe im luftleeren Raume zu studieren. Der hierzu dienende Apparat, welcher zugleich eine Abmessung der Spannkraft des gebildeten Dampfes zuläßt, besteht im wesentlichen in einem Gefäßbarometer (Fig. 326). Bringt man in den luftleeren Raum über dem Quecksilber in der Röhre einige Tropfen Wasser, was leicht geschehen kann, weil diese in dem specifisch schwereren Quecksilber emporsteigen, so sieht man das emporgestiegene Wasser sich rasch vermindern, in Dampf übergehen und das Quecksilber in der Röhre (um einige Millimeter) fallen. Die Größe dieses Fallens aber oder, was dasselbe sagen will, der Unterschied im Stande dieses Dampfbarometers und eines gewöhnlichen Barometers, in dessen längerem Schenkel sich über dem Quecksilber ein luftleerer Raum befindet, giebt die Spannkraft des gebildeten Wasserdampfes an.

(Fig. 326.)



Bringt man das Wasser in die Torricellische Leere nur ganz allmählich und in kleineren Quantitäten, so sieht man jeden einzelnen Tropfen bei seiner Ankunft in der Torricellischen Leere sich rasch vermindern und verschwinden und das Quecksilber infolge des Druckes der gebildeten Dämpfe fallen. Hat aber die Menge dieser Dämpfe bis zu einem gewissen Grade zugenommen, so findet keine weitere Dampfbildung und kein durch diese bewirktes Fallen des Quecksilbers mehr statt, wenn man auch noch mehr Wasser in den Raum über dem Quecksilber treten läßt. Man nennt einen solchen Raum, welcher keine Dämpfe mehr aufzunehmen vermag, mit Dämpfen gesättigt.

Je höher die Temperatur eines Raumes ist, um so größer ist auch die Menge der Dämpfe, welche derselbe zu fassen vermag, und um so größer die Spannkraft dieser Dämpfe. — Um hierüber genaue Maßbestimmungen zu erhalten, senkt man den in Fig. 326 abgebildeten Apparat in einen

hohen gläsernen Cylinder, welcher ganz mit Wasser angefüllt ist, das sich bis zu beliebigen Temperaturen erwärmen läßt. Man findet dann, daß die Menge und Spannkraft der Dämpfe, welche der leere Raum über dem Quecksilber zu fassen vermag, mit der Temperatur rasch zunimmt, und daß bei der Temperatur des Siedepunktes die Spannkraft dieser Dämpfe genau gleich dem Luftdrucke ist, daß also dieselben einer ebenso großen Quecksilbersäule (76 cm) wie die Luft das Gleichgewicht zu halten vermögen.

Um die Spannkraft der Dämpfe für höhere Temperaturen zu bestimmen, läßt das bisher beschriebene Verfahren keine Anwendung zu. Für diesen Zweck kann der (Fig. 327) abgebildete Apparat dienen. Derselbe besteht aus einer gläsernen Röhre, welche sich von einem Gefäßbarometer nur darin unterscheidet, daß der längere Schenkel b oben offen und das Gefäß a in eine feine Spitze ausgezogen ist. Der Raum über dem Quecksilber in dem Gefäße a wird ganz mit Wasser angefüllt und hierauf die feine Spitze zugeschmolzen. Wird dann dieser Apparat mit dem kürzeren Schenkel in eine bis über 100° erwärmte Flüssigkeit, z. B. in Öl getaucht, so bilden sich im kürzeren Schenkel Dämpfe, und die Höhe des Quecksilbers im offenen Schenkel b über dem Quecksilber im verschlossenen Schenkel a, vermehrt um die Größe des Luftdrucks, giebt die Spannkraft der gebildeten Dämpfe an.

(Fig. 327.)



Durch die in der angezeigten Art angestellten Versuche haben sich für die Dämpfe folgende Gesetze ergeben: — Dämpfe, welche vom Sättigungspunkte noch weit entfernt sind, zeigen im wesentlichen alle Eigenschaften der luftförmigen Körper überhaupt; sie lassen sich durch vermehrten Druck zusammenpressen, dehnen sich bei nachlassendem Drucke wieder aus und folgen hierbei, wenn man dieselben keinem zu starken Drucke unterwirft, dem Mariotteschen Gesetze (§. 66). Ebenso dehnen sie sich bei gleichbleibendem Drucke, aber vermehrter Wärme aus und ziehen sich bei verminderter Wärme zusammen. Die Dichtigkeit der Dämpfe läßt sich jedoch durch Verminderung der Temperatur oder durch Vergrößerung des Druckes nur bis zu einer gewissen Grenze steigern, nämlich soweit, bis der von den Dämpfen erfüllte Raum mit diesen gesättigt ist. Haben die Dämpfe dieses Maximum der Dichtigkeit und Spannkraft erreicht, so nimmt, wenn dieselben bei ungeänderter Temperatur einem größeren Drucke unterworfen werden, ihre Dichtigkeit und Spannkraft nicht mehr zu, sondern sie verwandeln sich in tropfbare Flüssigkeit; ebenso wird ein Teil der Dämpfe kondensiert, wenn bei gleichbleibendem Drucke eine Verminderung der Temperatur eintritt.

Vergleicht man die Dichtigkeit der Dämpfe mit der Dichtigkeit der trockenen, nur aus Sauerstoff und Stickstoff gemischten, atmospärischen Luft, so findet man, daß die Dichtigkeit des nicht gesättigten Wasserdampfes sehr nahe gleich $^5/_8$ (genauer 0,623) von der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur ist, und daß daher bei mittlerem Luftdrucke Wasserdampf von 100° ungefähr 1700mal (genauer 1689mal) leichter als Wasser von der nämlichen Temperatur ist.

Die vorhergehenden Untersuchungen betrafen zunächst nur den Wasserdampf. Sie gelten indessen im wesentlichen auch für die Dämpfe anderer Flüssigkeiten. Doch ist für verschiedene Flüssigkeiten auch die Spannkraft und die Dichte ihrer Dämpfe verschieden. Bei einerlei Temperatur ist die Spannkraft des Dampfes einer Flüssigkeit um so größer, je niedriger die Temperatur ist, bei welcher die Flüssigkeit siedet, also z. B. beim Spiritus oder Schwefeläther größer, beim Quecksilber bedeutend kleiner als beim Wasser. Für alle Flüssigkeiten aber gilt das Gesetz, daß die Spannkraft der Dämpfe beim Sieden dem atmosphärischen Luftdrucke gleich ist.

Die obige Angabe über die Dichtigkeit des Wasserdampfes ist dadurch erhalten worden, daß man eine genau abgewogene Menge Wasser in eine graduierte, mit Quecksilber gefüllte und mit dem untern offenen Ende ähnlich wie beim Torricellischen Versuche in ein Gefäß mit Quecksilber getauchte Röhre brachte, durch Erwärmung vollständig verdampfen ließ und den von den Dämpfen eingenommenen Raum, ihre Spannkraft und Temperatur sorgfältig abmaß. Auf ähnliche Art, wie die Dichtigkeit des Wasserdampfes (0,623), ist auch die Dichtigkeit der Dämpfe anderer Flüssigkeiten (Alkohol 1,6, Schwefeläther 2,6, Quecksilber 7,0) gefunden worden.

Die im Haupttext angegebenen Methoden zur Bestimmung der Spannkraft der Dämpfe, wie sie in der That von älteren Physikern angewendet worden sind, sind nur zu dem Zwecke hier aufgeführt, um überhaupt die Möglichkeit dieser Abmessungen zu zeigen; dieselben gewähren jedoch keine volle Genauigkeit. Die nämlichen Abmessungen sind später nach genaueren, aber umständlicheren Methoden wiederholt worden, deren Beschreibung uns hier zu weit führen würde.

Die Dämpfe folgen dem Mariotteschen Gesetze nur so lange, als sie weit von dem Sättigungspunkte entfernt sind. Wenn sie durch verstärkten Druck oder erniedrigte Temperatur in die Nähe dieses Punktes gelangen, so findet eine Zusammenziehung derselben statt, welche ihrem Übergange in den flüssigen Zustand vorangeht.

Dämpfe, welche von Wasser aufsteigen, welches Salze aufgelöst enthält, haben eine etwas geringere Spannkraft als die von reinem Wasser bei gleicher Temperatur aufsteigenden Dämpfe.

Bei Dämpfen, welche von Gemengen solcher Flüssigkeiten, die sich nicht mischen, wie z. B. Wasser und Schwefelkohlenstoff, entbunden werden, ist die Spannkraft übereinstimmend mit dem Daltonschen Gesetze (§. 243) gleich der Summe der Spannkräfte, welche die Dämpfe der Gemengteile bei der nämlichen Temperatur haben. Bei Flüssigkeiten dagegen, welche sich in jedem Verhältnisse mit einander vermischen, wie Wasser und Spiritus, ist die Spannkraft der gemengten Dämpfe kleiner als die des Dampfes der flüchtigeren Flüssigkeit bei derselben Temperatur.

Die folgende Tabelle giebt die Spannkraft des Wasserdampfes für Temperaturen unter 100° in Millimetern einer Quecksilbersäule, welcher der Dampf das Gleichgewicht zu halten vermag, für höhere Temperaturen aber in Atmosphären an.

Temperatur.	Spannkraft in Millimetern.	Temperatur.	Spannkraft in Millimetern.	Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.
—20°	0,927	30°	31,548	100°	1
15	1,400	35	41,827	120,6	2
10	2,093	40	54,906	133,9	3
5	3,113	50	91,982	144	4
0	4,600	60	148,791	159,2	6
+ 5	6,534	70	233,093	170,8	8
10	9,165	80	354,643	180,3	10
15	12,699	90	525,392	213	20
20	17,391	100	760,000	236,2	30
25	23,550			252,5	40

§. 239. Kondensation der Gase. Manche Luftarten behalten die luftförmige Gestalt nur bei höherer Temperatur oder geringem äußeren Druck; bei Verminderung der Wärme oder Verstärkung des Druckes kehren sie bald in den flüssigen Zustand zurück, in welchem sie sich uns am häufigsten zeigen, wie z. B. Wasser, Spiritus, Äther u. dgl. Solche Luftarten bezeichnet man gewöhnlich als **Dämpfe**, während diejenigen Luftarten, welche bei gewöhnlicher Temperatur und mäßigem Druck luftförmig bleiben, wie z. B. atmosphärische Luft, Leuchtgas, Kohlensäure, Gase im engeren Sinne genannt werden. **Zwischen den Dämpfen und den Gasen findet hiernach kein absoluter, sondern nur ein relativer Unterschied statt**, da alle Gase in den flüssigen Zustand übergehen, wenn sie nur einer hinreichend niedrigen Temperatur und einem hinreichend starken Druck ausgesetzt werden.

Nimmt die Temperatur eines Gases ab, so vermindert sich gleichzeitig der Druck, welcher zur Verflüssigung erforderlich ist. Bei einer hinreichend tiefen, für verschiedene Gase sehr verschiedenen Temperatur gehen alle Gase schon unter einem Drucke, welcher dem gewöhnlichen Luftdrucke (1 Atmosphäre) gleich ist, in den flüssigen Zustand über. — Andererseits giebt es für jedes Gas eine gewisse höchste Temperatur, oberhalb welcher dasselbe überhaupt nicht zu einer Flüssigkeit verdichtet werden kann. Man bezeichnet dieselbe als die **kritische Temperatur** des Gases. Sie beträgt z. B. für Kohlensäure 31°. Hat Kohlensäure eine höhere Temperatur, so läßt sich dieselbe auch bei Anwendung des stärksten Druckes nicht in den flüssigen Zustand überführen.

Einige Gase, z. B. schwefelige Säure, lassen sich schon bei gewöhnlichem Luftdruck mit Hülfe einer Kältemischung (z. B. von Kochsalz und Schnee, §. 236) verflüssigen. Man leitet die Gase zu dem Zweck durch Gefäße, welche von der Kältemischung umgeben sind.

Um Gase durch Druck zu verdichten, bedient man sich am bequemsten einer Kompressionspumpe (§. 71). — Die Verdichtung von Gasen, welche erst unter Anwendung eines sehr starken Druckes flüssig werden, wie z. B. Kohlensäure, welche bei 13° einen Druck von beinahe 50 Atmosphären erfordert, geschieht gewöhnlich in dickwandigen, schmiedeeisernen Flaschen, welche auf eine genügende Festigkeit geprüft sind. In eine solche Flasche wird das Gas vermittelst einer starken Kompressionspumpe hineingepreßt, während die Flasche gleichzeitig von einer Kältemischung umgeben ist.

Auf die angegebene Weise kann Kohlensäure zu einer farblosen, äußerst flüchtigen Flüssigkeit verdichtet werden, welche an freier Luft schon bei —80° siedet. Dieselbe erzeugt beim Ausströmen aus der Öffnung des Gefäßes durch teilweise Verdunstung eine solche Kälte, daß ein anderer Teil der Flüssigkeit unter den Gefrierpunkt abgekühlt und in den festen Zustand übergeführt wird, in welchem derselbe ein dem Schnee ähnliches Aussehen zeigt. Dieser Kohlensäureschnee besitzt an freier Luft eine Temperatur von —70° und hält sich längere Zeit, da er ein schlechter Wärmeleiter ist. Quecksilber erstarrt in demselben sehr leicht zu einer festen Masse. — Die flüssige Kohlensäure findet seit einigen Jahren mehrfache Verwendung im großen, z. B. zur Herstellung von künstlichem Selterswasser, sowie zur Erzeugung von künstlicher Kälte.

Entscheidende Versuche über die Kondensation von Gasen sind zuerst von dem Engländer Faraday (1823) angestellt worden. In einer Mischung von fester Kohlensäure mit Äther erzeugte er durch Verdampfung im luftleeren Raume eine Kälte von ungefähr —110°; doch waren seine Versuche bei einigen Gasen, wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff erfolglos. Diese Gase widerstanden bis vor wenigen Jahren allen weiteren Kondensationsversuchen, wiewohl man sie einem Drucke von mehreren tausend Atmosphären aussetzte. Nachdem aber Andrews (1870) gefunden hatte, daß ein Gas überhaupt nur unterhalb einer bestimmten Grenztemperatur (der kritischen) in den flüssigen Zustand übergeführt werden kann, gelang es (1877) den beiden Forschern Cailletet in Frankreich und Pictet in Genf, die Temperatur soweit z[illegible] auch die bis dahin nicht kondensierten

Gase bei starkem Drucke flüssig wurden. Sie erreichten eine solche Kälte durch sehr beschleunigte und anhaltende Verdampfung von kondensierten Gasen, indem sie die sich immer neu bildenden Dämpfe der siedenden Flüssigkeiten durch fortwährendes Pumpen vermittelst einer Luftpumpe entfernten und dadurch die Verdunstungskälte (§. 241) auf das höchste steigerten. — Diese Versuche sind seitdem von anderen Physikern noch vollständiger ausgeführt worden. Dieselben haben Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff in größerer Menge zu durchsichtigen, wasserhellen Flüssigkeiten verdichtet. Durch rasche Verdampfung dieser Flüssigkeiten im luftleeren Raume vermochten sie die Temperatur bis unter — 200° zu erniedrigen; dabei erstarrten der Sauerstoff und der Stickstoff teilweise zu festen Körpern von weißer Farbe.

Die folgende Tabelle enthält einige Ergebnisse der über die Verdichtung von Gasen angestellten Versuche. Beim Sauerstoff und Stickstoff ist die zuerst angeführte Temperatur zugleich die kritische.

Name des Gases.	Wird flüssig bei einer Temperatur von	und einem Drucke von	Wird fest bei einer Temperatur von
Schwefelige Säure	0°	1,5 Atm.	—76°
	—10°	1 "	
Ammoniak	0°	4 "	—75°
	—30°	1,1 "	
Kohlensäure	0°	35 "	—58°
	—80°	1 "	
Sauerstoff	—119°	51 "	—214°
	—184°	1 "	
Stickstoff	—146°	35 "	—203°
	—193°	1 "	

§. 240. Vom Sieden. Die Untersuchungen der vorhergehenden Paragraphen geben uns auch Aufschluß über die Erscheinung des Siedens. Solange die Temperatur einer Flüssigkeit die ihres Siedepunktes noch nicht erreicht hat, können im Innern derselben sich keine Dämpfe bilden, weil die Spannkraft derselben weniger als 76 cm beträgt. Eine in der Flüssigkeit etwa entstehende Dampfblase müßte durch den auf derselben lastenden Druck der Atmosphäre sogleich wieder zu tropfbarer Flüssigkeit verdichtet werden. Anders verhält es sich jedoch an der Oberfläche der Flüssigkeit, wo die Dämpfe sich mit der atmosphärischen Luft vermischen und also nicht mehr allein, sondern mit Gasen vermischt, den auf ihnen lastenden Druck der Atmosphäre tragen.

Wenn eine Flüssigkeit bis zur Temperatur des Siedepunktes erwärmt ist, so vermögen die Dämpfe derselben allein den Druck der Atmosphäre auszuhalten und können sich daher auch im Innern der Flüssigkeit bilden. Das *Eigentümliche des Siedens besteht also erstens darin, daß alle der Flüssigkeit zugeführte Wärme zur Dampfbildung verwandt wird und zweitens darin, daß die Dämpfe sich nicht bloß an der Oberfläche, sondern auch im Innern der Flüssigkeit bilden.*

Da eine Flüssigkeit bei derjenigen Temperatur siedet, bei welcher die Dämpfe derselben den auf der Flüssigkeit lastenden Luftdruck auszuhalten vermögen, so muß dieselbe bei einer um so niedrigeren Temperatur sieden, je geringer die Größe dieses Druckes ist. (So folgt z. B. aus der S. 403 aufgeführten Tabelle, daß das Wasser bei einem Luftdrucke von 52,5 cm, 35,4 cm, 23,3 cm u. s. w. schon bei 90°, 80°,

70° u. s. w. siedet.) Man sieht hieraus, daß der **Siedepunkt** des Wassers und ebenso der jeder anderen Flüssigkeit eigentlich **kein fester Punkt** ist, **sondern mit dem Luftdrucke steigt und fällt**, weshalb auch zwei Thermometer nur dann in ihren Angaben unmittelbar übereinstimmen können, wenn ihre Siedepunkte bei gleichem Luftdrucke bestimmt worden sind. Weiter erklärt sich hieraus, warum das Wasser auf hohen Bergen bei niedrigeren Temperaturen siedet, als im Thale, und warum unter dem Recipienten der Luftpumpe bei starker Verdünnung schon lauwarmes Wasser siedet. In einem gänzlich luftleeren Raume würde das Wasser selbst bei 0° sieden.

Da die Temperatur einer **siedenden** Flüssigkeit nicht mehr zunimmt, auch wenn unter derselben das stärkste Feuer angebracht wird, so läßt sich auf hohen Bergen das Wasser in einem offenen Gefäße nicht bis zu der Temperatur erwärmen, bei welcher dasselbe im Thale siedet. So läßt sich z. B. in dem Hospiz auf dem St. Bernhard in einer Höhe von 2500 m in offenen Gefäßen Rindfleisch nicht mehr weich kochen, weil in dieser Höhe der Luftdruck nur noch (ungefähr) 55 cm beträgt, und daher das Wasser schon bei 92° siedet.

Dagegen kann man in einem dicht verschlossenen Gefäße, **Papinschen Topfe**, das Wasser bis zu jeder beliebigen Temperatur erwärmen, indem der Druck der Dämpfe, welche nicht entweichen können, das Sieden der Flüssigkeit verhindert. In demselben kann man Knochen, Hirschhorn, Fischgräten u. a. m. erweichen, welche im siedenden Wasser nicht weich werden. Ein solcher Topf muß jedoch, da mit der zunehmenden Wärme auch die Spannkraft des Dampfes und die Gefahr des Zerspringens sich vergrößert, mit einem **Sicherheitsventile** versehen sein, welches sich von selbst öffnet, wenn die Spannkraft der Dämpfe eine gewisse Grenze überschreitet.

Der Erscheinung des Siedens pflegt ein eigentümliches Geräusch (Simmern) vorauszugehen, welches dadurch entsteht, daß die dem Boden nächsten Wasserschichten durch das unter demselben angebrachte Feuer sich zuerst bis zum Siedepunkte erhitzen und in Dämpfe verwandeln und die emporsteigenden Dampfbläschen, indem sie in die oberen, noch nicht bis zu dieser Temperatur erwärmten Schichten gelangen, sich wieder verdichten.

Wenn Wasser in einem hohen Gefäße siedet, so haben die unteren Schichten eine etwas höhere Temperatur als die oberen, weil die unteren Schichten nicht bloß den Luftdruck erleiden, sondern auch die auf ihnen lastende Wassersäule zu tragen haben.

(Fig. 328.)



Daß das Wasser durch verminderten Druck schon bei sehr mäßigen Temperaturen, welche weit unter 100° liegen, zum Sieden gebracht werden kann, läßt sich auch durch folgenden ebenso lehrreichen als leicht anzustellenden Versuch zeigen. In einem gläsernen Kölbchen wird Wasser bis zum starken Sieden erhitzt, hierauf das Kölbchen vom Feuer abgehoben, rasch verkorkt und umgekehrt. Dann siedet das Wasser in dem Kölbchen noch lange Zeit fort; und das allmählich nachlassende Sieden wird wieder lebhafter, wenn man den oberen, mit Dämpfen gefüllten Teil des Kölbchens mit kaltem Wasser übergießt (Fig. 328). — Auf gleichem Principe beruht der sogenannte **Pulshammer**, eine luftleere gläserne Röhre, in welcher Spiritus schon durch die Wärme der Hand zum Sieden gebracht wird.

Während (unter einem Druck von 76 cm) das Wasser bei 100° siedet, siedet das Quecksilber erst bei 350°, Leinöl bei 315°, dagegen Alkohol schon bei 78°, Schwefeläther bei 36°; die Siedetemperaturen von einigen verflüssigten Gasen sind in der Tabelle [illegible] oben.

Bei einer Mischung von [illegible] der Siedepunkt der Mischung zwischen dem des Wassers und dem des [illegible] feste Substanzen aufgelöst, so liegt

ihr Siedepunkt höher als der der reinen Flüssigkeit. So siedet Wasser, welches 10, 20, 30, 40 Prozent Kochsalz aufgelöst enthält, erst beziehlich bei 101$^1/_2$°, 103$^1/_2$°, 106°, 108$^1/_2$°.

So wie wir oben (§. 236) gesehen haben, daß luftfreies, gegen Erschütterung geschütztes Wasser sich, ohne zu erstarren, mehrere Grade unter den Eispunkt abkühlen läßt, ebenso kann dasselbe beträchtlich über den Siedepunkt erwärmt werden, ehe es ans Sieden kommt. Indem dieses dann stoßweise und mit Heftigkeit erfolgt, bildet dasselbe wahrscheinlich eine der Hauptursachen der Dampfkesselexplosionen. — Der Siedeverzug des luftfreien Wassers wird ohne Zweifel durch den Widerstand herbeigeführt, welchen die Anziehung der Moleküle des luftfreien Wassers der Dampfbildung entgegensetzt, während in dem lufthaltigen Wasser dieser Zusammenhang der Moleküle des Wassers durch die zwischen ihnen befindlichen Luftmoleküle schon sehr gelockert ist.

Auf ähnlichem Grunde dürfte die Erscheinung beruhen, daß das siedende (lufthaltige oder luftfreie) Wasser selbst eine etwas höhere Temperatur besitzt als die aus demselben aufsteigenden Dämpfe. Während diese nur den Luftdruck auszuhalten haben, müssen die im Innern des Wassers sich bildenden Dämpfe bei ihrem Entstehen eine so hohe Temperatur haben, daß die dieser entsprechende Spannkraft sie befähigt, nicht bloß den Luftdruck, sondern außerdem auch noch den Druck der oberen Wasserschichten und die Kohäsion der Wassermoleküle zu überwinden. Indem sie nach ihrem Austritte aus dem Wasser nur noch den Luftdruck zu ertragen haben, dehnen sie sich aus, wodurch ihre Temperatur etwas verringert wird (§. 253, b).

In nahem Zusammenhange mit dem eben Angeführten steht auch die Erscheinung, daß Wasser in metallenen Gefäßen bei etwas niedrigerer Temperatur als in gläsernen oder porzellanenen, überhaupt in Gefäßen, an deren Wänden es schwach adhäriert, eher als in denen, an welchen es stark adhäriert, siedet, was darauf beruht, daß die an den Wänden sich bildenden Dämpfe statt der Kohäsion die Adhäsion zu überwinden haben. — Die Temperatur der aus dem siedenden Wasser aufsteigenden Dämpfe ist jedoch bei allen Gefäßen die nämliche, weshalb man bei der Bestimmung des Siedepunktes das Thermometer in die Dämpfe des siedenden Wassers und nicht in dieses selbst eintaucht.

Überraschend ist die Erscheinung, auf welche vorzüglich Leidenfrost (1756) aufmerksam gemacht hat, daß Wasser auf glühende Metallflächen gegossen nicht siedet, sondern sich, wie Quecksilber auf Glas, in Tropfen sammelt, welche auf der Metallplatte rotieren. In einem stark glühenden Tiegel von Silber oder Platin nimmt auch eine größere Menge Wasser, welche man allmählich in denselben schüttet, die sphäroidische Gestalt an. Sowie aber das Metall sich etwas abkühlt, kommt das Wasser in heftiges Sieden und wird nach allen Seiten umhergeschleudert. — Es erklärt sich diese Erscheinung daraus, daß die Wasserkugel ringsum von einer Atmosphäre von Dämpfen umgeben ist, welche, solange die Metallplatte stark erhitzt ist, eine hohe Spannung besitzen und die unmittelbare Berührung der Wasserkugel mit dem glühenden Metall verhindern, was nicht mehr der Fall ist, wenn sich dieses bis zu einem gewissen Punkte abgekühlt hat.

Eine verwandte Erscheinung dürfte auch der zuweilen von Arbeitern in Schmelzhütten ausgeführte Versuch sein, bei welchem dieselben, ohne sich zu verletzen, mit bloßen Füßen über glühendes Metall gehen oder die Hände kurze Zeit in geschmolzenes Metall eintauchen, wobei jedoch, wenn der Versuch keine Gefahr bringen soll, die Temperatur des geschmolzenen oder glühenden Metalles keine zu niedrige sein darf. — Diese auffallenden Versuche finden ihre Erklärung wahrscheinlich darin, daß sich vermöge der starken Ausdünstung der Haut eine dieselbe schützende und die innige Berührung mit dem Metall hindernde Dampfatmosphäre bildet.

Nicht bloß Wasser, sondern auch andere leicht verdampfende Flüssigkeiten, wie Spiritus, Äther, flüssige Kohlensäure, schwefelige Säure u. dgl. m. nehmen in glühenden Metallgefäßen die sphäroidische Gestalt an. Besonders überraschend ist der folgende Versuch. Wenn man in einen glühenden Tiegel von Platin oder Silber flüssige schwefelige Säure gießt und, nachdem diese die sphäroidische Gestalt angenommen hat, Wasser zusetzt, so gefriert das Wasser und läßt sich als Eis aus dem glühenden Tiegel ausschütten. Das Widersprechende dieses Versuches läßt sich dadurch erklären, daß die flüssige schwefelige Säure schon bei —10° siedet und folglich auch die Temperatur der sphäroidischen Masse diese Temperatur nicht übersteigt. — Ebenso kann man in einer Mischung aus Schwefel[illegible] fester Kohlensäure in einem glühenden Platintiegel Quecksilber in kurzer Zeit zum Gefriere[illegible]

§. 241. **Die Verdampfungswärme.** So wie beim Übergange der Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand Wärme gebunden wird, so findet dies in noch viel stärkerem Maße beim Übergange in den luftförmigen Zustand statt. So werden z. B. bei der Verwandlung von Wasser von 100° in Dampf von 100° 536 Wärmeeinheiten gebunden, d. h. dieselbe Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 kg Wasser von 100° in 1 kg Dampf von 100° zu verwandeln, ist imstande, die Temperatur von 536 kg Wasser von 0° bis 1° zu erhöhen. — Diese Wärmemenge wird gefunden, indem man eine abgewogene Menge Wasser in einem Kolben zum Sieden bringt und die entstandenen Dämpfe in ein Gefäß leitet, welches eine größere, ebenfalls abgewogene Menge kalten Wassers enthält, und die Erhöhung der Temperatur beobachtet, welche diese Wassermasse infolge der Kondensation der Dämpfe erleidet. Damit diese möglichst vollständig stattfindet, macht das Rohr in dem Gefäße mehrere schlangenförmige Windungen.

Auch bei dem Sieden anderer Flüssigkeiten und der Umwandlung derselben in Dämpfe wird Wärme gebunden. Die Menge dieser Wärme ist jedoch für verschiedene Flüssigkeiten sehr verschieden (z. B. für Alkohol 214, Schwefeläther 90 Wärmeeinheiten u. dgl. m.).

Die große Menge der Wärme, welche bei der Umwandlung des flüssigen Wassers in luftförmiges gebunden wird, ist im Haushalte der Natur von sehr wichtigem Einflusse. Ohne den beim Verdampfen des Wassers stattfindenden Verbrauch von Wärme würde die Verdunstung des Wassers an der Oberfläche der Erde unvergleichlich rascher erfolgen; ebenso würde ohne die bei der Kondensation der Dämpfe wieder frei werdende Wärme das in der Atmosphäre enthaltene luftförmige Wasser bei einer Temperaturerniedrigung plötzlich in den gewaltigsten und verheerendsten Regengüssen niederstürzen.

Auf dem bei der Dampfbildung stattfindenden Wärmeverbrauche beruht auch das Verfahren, Gefäße kühl zu erhalten, indem man sie mit nassen Tüchern umgiebt, und das Gefühl von Kälte, wenn man aus einem Bade steigt. Ebenso bewirkt die beständige Ausdünstung der Haut, besonders in großer Hitze, eine sehr wohlthätige Abkühlung. Indem mit der Temperatur der Luft, in welcher wir uns befinden, auch die Hautausdünstung und folglich die Menge der gebundenen Wärme zunimmt, wird selbst in der größten Sonnenhitze die Temperatur des Blutes (37°) nicht beträchtlich erhöht.

In heißen Gegenden wird das Wasser in porösen Thongefäßen, durch welche es beständig hindurchsickert, kühl gehalten. — In Ostindien gewinnt man in kühlen Nächten Eis dadurch, daß man ein Feld mit einer dicken Schicht von Stroh bedeckt und auf diese poröse Gefäße mit Wasser stellt, welches sich besonders gegen Morgen, wo sich gewöhnlich ein kühler Wind erhebt, mit einer Eisdecke bekleidet.

Die Verdunstung erfolgt um so rascher und die durch dieselbe bewirkte Kälte ist folglich um so größer, je geringer der Luftdruck ist. Unter dem Recipienten der Luftpumpe können bei starker Verdünnung einige Tropfen Wasser in einem Uhrglase, welches man an der Innenseite stark mit Ruß überzogen hat, der ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, auch im Sommer oder im geheizten Zimmer zum Frieren gebracht werden. Noch leichter gelingt der Versuch, wenn unter dem Schälchen mit Wasser ein Gefäß mit konzentrierter Schwefelsäure aufgestellt ist, welche die gebildeten Wasserdämpfe begierig absorbiert und so die Bildung [illegible] befördert.

Die große Verdunstungskälte des Wassers zeigt auch der Kryophor (κρύος, Eis). Dieser (Fig. 329) besteht aus einer gläsernen Röhre, welche in zwei Kugeln endet, die etwas Wasser enthalten, aber luftleer sind. Bringt man die eine der Kugeln in eine Kälte erregende Mischung (§. 236), z. B. in eine Mischung von Kochsalz und Schnee, so werden die in dieser Kugel enthaltenen Wasserdämpfe kondensiert; infolge hiervon tritt in der anderen, außerhalb der Mischung befindlichen Kugel eine so starke Verdunstung des Wassers ein, daß ein Teil des übrig bleibenden Wassers durch die hiermit verbundene Abkühlung zum Frieren gebracht wird.

(Fig. 329.)



Die Verdunstungskälte ist im allgemeinen um so größer, je niedriger der Siedepunkt der verdunstenden Flüssigkeit liegt. Sie ist daher beim Spiritus und besonders beim Schwefeläther beträchtlicher als beim Wasser. Umgiebt man die Kugel eines Thermometers mit feiner Leinwand, welche man mit Schwefeläther benetzt, und setzt das Thermometer einem starken Luftzuge aus, so fällt dasselbe selbst im heißen Sommer mehrere Grade unter den Eispunkt.

Die höchsten Kältegrade, welche man überhaupt künstlich hervorzubringen vermag, entstehen bei der raschen Verdunstung der zu tropfbaren Flüssigkeiten verdichteten Gase, wie der schwefeligen Säure, der Kohlensäure u. a. m. Durch rasche Verdampfung von flüssiger Kohlensäure im luftleeren Raume läßt sich eine Temperatur erzeugen, welche mehr als 100° unter dem Eispunkte liegt. Die höchsten Grade künstlicher Kälte, welche man neuerdings durch schnelle Verdampfung von Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff im leeren Raume hervorgebracht hat, liegen unter — 200°. (Siehe auch oben §. 239, Anm.)

Die Verdunstungskälte des flüssigen Ammoniaks und der flüssigen Kohlensäure wird in der Technik zur Eisbereitung, z. B. für Bierbrauereien, benutzt.

Die Menge der Wärme, welche beim Übergange des Wassers aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand gebunden wird, ist nicht für alle Temperaturen die nämliche; während dieselbe bei 100° 536 Wärmeeinheiten beträgt, ist sie bei 0° gleich 606, bei 200° gleich 464 Wärmeeinheiten. Es nimmt hiernach die Summe aus der freien und gebundenen Wärme des Dampfes mit der Temperatur desselben zwar zu, aber nach einem bis jetzt noch nicht ermittelten Gesetze.

§. 242. Die Dampfmaschine. Die Dämpfe finden mannigfaltige Anwendungen. Wir beschränken uns hier auf die wichtigste, die Dampfmaschine, bei welcher die Spannkraft des Wasserdampfes als bewegende Kraft benutzt wird.

(Fig. 330.)



Um überhaupt zu zeigen, wie durch die Kraft der Dämpfe sich eine regelmäßig wechselnde Bewegung bewirken läßt, kann der folgende einfache Versuch dienen. In einem Gefäße b (Fig. 330), welches in einen cylinderförmigen Hals a ausläuft, in dem sich ein dicht anschließender Kolben c auf und nieder bewegen läßt, wird Wasser erhitzt. So wie das Wasser die Siedehitze erreicht hat, treiben die sich entwickelnden Dämpfe den Kolben c gegen den Luftdruck in der cylinderförmigen Röhre empor. Taucht man dann das Gefäß b in kaltes Wasser, so kondensieren sich die Dämpfe wieder, der äußere Luftdruck bekommt das Übergewicht und treibt den Kolben nieder. — Was dieser Versuch im kleinen zeigt, macht im wesentlichen das Princip der Dampfmaschine im großen.

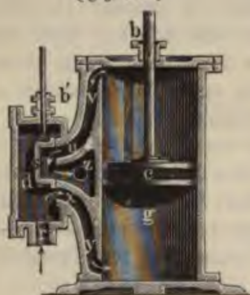
Zu den wichtigsten Teilen einer Dampfmaschine gehört zunächst der Kessel, in welchem der Dampf entwickelt wird,

ferner der Cylinder, in welchem der Dampf einen luftdicht anschließenden Kolben hin- und herbewegt. Die Fig. 331 und 332 zeigen einen Dampfcylinder g im Durchschnitt. Die Bewegung des Kolbens c wird vermittelst einer Stange, welche durch die Stopfbüchse b luftdicht hindurch geht, nach außen übertragen.

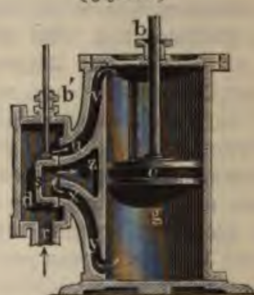
Eine besondere Vorrichtung, die **Steuerung** der Maschine, bewirkt, daß der Dampf bald auf der einen, bald auf der anderen Seite des Kolbens in den Cylinder eintritt. Am gebräuchlichsten ist die **Schiebersteuerung** (Fig. 331 u. 332).

Aus der an der Seite des Cylinders gelegenen Dampfkammer d führen in das Innere desselben zwei Kanäle, von denen der eine uv oben, der andere xy unten

(Fig. 331.)



(Fig. 332.)



einmündet. Diese beiden Kanäle lassen sich abwechselnd öffnen und schließen, indem in der Dampfkammer ein ausgehöhlter Schieber s vermittelst einer Stange, welche durch die Stopfbüchse b′ luftdicht hindurchgeht, auf und nieder bewegt wird.

Nimmt der Schieber seinen höchsten Stand ein (Fig. 331), so gelangt der Dampf, welcher aus dem Kessel durch das Rohr r in die Kammer einströmt, durch den Kanal xy in den unteren Raum des Cylinders und treibt den Kolben empor. Zugleich kann der Dampf, welcher in dem oberen Raume des Cylinders enthalten ist, durch den Kanal uv in die Höhlung des Schiebers und von dort weiter durch das Rohr z entweichen. — Hat dagegen der Schieber seinen tiefsten Stand (Fig. 332), so strömt der Dampf durch den Kanal uv in den oberen Raum des Cylinders und drückt den Kolben nieder, während der unter dem Kolben befindliche Dampf durch den Kanal xy und das Rohr z wieder austritt.

Der aus dem Cylinder abströmende Dampf entweicht bei einer Art von Maschinen, wie z. B. bei den Lokomotiven, in die freie Luft, bei einer anderen Art dagegen in einen großen, geschlossenen und luftleeren Behälter, den **Kondensator**, in welchem er durch beständiges Einspritzen von kaltem Wasser wieder in den flüssigen Zustand übergeführt wird. Hiernach sind zwei Hauptgruppen von Dampfmaschinen zu unterscheiden, solche **mit** Kondensation und solche **ohne** Kondensation.

Arbeitet eine Maschine ohne Kondensator, so hat der Dampf bei der Fortbewegung des Kolbens stets den Gegendruck, welchen die atmosphärische Luft von der anderen Seite her auf den Kolben ausübt, zu überwinden. Wird aber der abströmende Dampf in einem Kondensator verdichtet, so fällt ein solcher Gegendruck *fast ganz fort,* da der Kondensator [illegible] luftleer ist und die Spannkraft des-

Dampfes mit der Temperatur sehr rasch abnimmt. Für Maschinen mit Kondensation genügt deswegen schon Dampf von geringer Spannung (unter 2 Atmosphären); für Maschinen ohne Kondensator ist dagegen Dampf von höherer Spannung erforderlich. Maschinen, welche mit Dampf von geringer Spannung arbeiten, bezeichnet man als **Niederdruckmaschinen**, solche, welche Dampf von hoher Spannung benutzen, als **Hochdruckmaschinen**. Die ersteren bedürfen stets eines Kondensators, bei den letzteren kann derselbe dagegen fehlen.

Durch die Bewegung der Kolbenstange wird bei den meisten Dampfmaschinen eine starke Welle in Drehung versetzt. Gewöhnlich trägt dann die Welle ein großes, schweres Rad, das **Schwungrad**, welches die Bestimmung hat, durch die Trägheit seiner Masse den Gang der Maschine gleichmäßig zu erhalten.

In Fig. 333 ist eine Hochdruckmaschine abgebildet. Die Bewegung des Kolbens c überträgt sich auf die Schwungradwelle w, indem die Kolbenstange durch Vermittelung einer Stange p, der **Pleuelstange**, auf die an der Welle befestigte Kurbel k drehend einwirkt. — Damit die seitliche Bewegung, welche die Pleuelstange bei Drehung der Kurbel ausführen muß, nicht auf die Kolbenstange übergeht, und so die Stopfbüchse des Cylinders Schaden leidet, ist an der Kolbenstange ein Querstück qq angebracht, welches durch zwei feste Leitstangen, von denen in der Figur nur eine l gezeichnet ist, in senkrechter Richtung geführt wird.

Die Bewegung des Schiebers s wird durch die Maschine selbst vermittelst des auf der Welle des Schwungrades befestigten **Excenters** e besorgt. Dasselbe besteht aus einer kreisförmigen Scheibe, deren Mittelpunkt außerhalb der Drehungsachse der Welle fällt. (Bei der in der Figur abgebildeten Stellung liegt der Mittelpunkt senkrecht unter der Drehungsachse.) Diese excentrische Scheibe ist von einem Ringe umschlossen, innerhalb dessen sie sich frei drehen kann; von dem Ringe aber geht eine Stange f aus, welche mit der Schieberstange in Verbindung steht. Indem nun bei jeder Umdrehung der Welle der Mittelpunkt der Scheibe um die Drehungsachse einen Kreis beschreibt, wird der umschließende Ring und damit zugleich der Schieber abwechselnd gehoben und gesenkt.

Beachten wir ferner noch folgendes: In der Figur nimmt der Schieber bei mittlerer Stellung des Kolbens seinen tiefsten Stand ein. Es rührt dies daher, daß die Kurbel eine wagerechte Richtung (nach rechts) hat, während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe senkrecht unter der Drehungsachse liegt. Die Scheibe ist also so an der Welle befestigt, daß die Verbindungslinie ihres Mittelpunktes mit der Drehungsachse und die Richtung der Kurbel senkrecht zu einander stehen. Hieraus ergiebt sich leicht, welche Lage der Schieber bei anderen Stellungen des Kolbens hat. Ist insbesondere der Kolben auf seinen tiefsten Stand gekommen, die Kurbel also senkrecht abwärts gerichtet, so liegt der Mittelpunkt der Scheibe, welcher beim Niedergange des Kolbens auf der linken Seite der Achse emporsteigt, mit dieser in gleicher Höhe; der Schieber hat demnach seine mittlere Stellung. In dieser sperrt er beide Dampfkanäle ab. — Dieselbe Stellung nimmt der Schieber wiederum ein, wenn der Kolben seinen höchsten Stand erreicht hat, die Kurbel also senkrecht aufwärts gerichtet ist.

In den beiden angegebenen Stellungen, bei welchen gar kein Dampf in den Cylinder einströmt, vermag übrigens auch der stärkste Druck auf den Kolben keine Drehung zu bewirken. Da nämlich dann die Kurbel senkrecht abwärts oder aufwärts gerichtet ist, also mit der Pleuelstange in einer geraden Linie liegt, so geht ein auf den Kolben ausgeübter Druck durch die Achse der Kurbel, wird mithin durch die Festigkeit dieser Achse aufgehoben. Hat die Kurbel eine der bezeichneten Lagen, so befindet sich die Maschine, wie man sagt, auf dem **toten** Punkte. Sie würde stille stehen, hülfe jetzt nicht die Trägheit des Schwungrades aus. Da dieses aber die einmal erlangte Bewegung noch beibehält, so geht auch die Drehung weiter; Pleuelstange und Kurbel bilden wieder einen Winkel. Der Dampf kann von neuem drehend wirken.

Das Schwungrad, welches nach dem Vorstehenden die Maschine in den Stand setzt, die toten Punkte zu überwinden, hat überhaupt den Zweck, kleinere und insbesondere plötzliche Unregelmäßigkei

im Gange der Maschine zu verhüten. — Andererseits muß naturgemäß auch die Umdrehungsgeschwindigkeit des Schwungrades stetig wachsen, wenn sich die Widerstände, welche die Maschine bei einer Arbeit zu überwinden hat, bei gleichmäßigem Zuströmen des Dampfes andauernd vermindern.

Um einen zu raschen Gang, sowie überhaupt größere Unregelmäßigkeiten der Bewegung zu verhindern, dient eine besondere Vorrichtung, der Centrifugalregulator, welcher den Zufluß des Dampfes vermindert, sobald die Umdrehungsgeschwindigkeit eine gewisse Grenze überschreitet. Es befindet sich nämlich in dem Dampfrohre bei o eine drehbare Scheibe, die Drosselklappe, durch welche das Rohr teilweise oder ganz geschlossen werden kann. Dieser Klappe giebt die Maschine selbst die jedesmal passende Stellung. Zu dem Zweck ist (oberhalb der Welle) eine senkrechte, in einem Lager drehbare Stange a angebracht, welche oben zwei bewegliche, in schwere Kugeln endigende Arme trägt und vermittelst zweier konischen Räder r und r' in Drehung versetzt wird, sobald die Schwungradwelle sich dreht. Mit zunehmender Geschwindigkeit wächst nun die Centrifugalkraft (§. 42, a) in den Kugeln so bedeutend an, daß sie auseinander getrieben werden, und daß infolgedessen die beweglichen Arme sich heben. Dabei ziehen die letzteren vermittelst zweier Verbindungsstangen eine an der Achse verschiebbare Hülse h empor, wodurch vermittelst der Hebelvorrichtung mno die Drosselklappe so gedreht wird, daß sie den Dampf teilweise oder ganz absperrt.

Als Nebenapparat der Maschine ist noch die Speisepumpe i zu erwähnen, welche dem Kessel für das verbrauchte Wasser neues zuführt und vermittelst einer excentrischen Scheibe getrieben wird. — An einer Maschine mit Kondensator ist außerdem noch eine Kaltwasserpumpe vorhanden, durch welche beständig kaltes Wasser in den Kondensator eingespritzt wird; ferner eine Warmwasserpumpe, welche das warme Wasser des Kondensators herausschafft und der Speisepumpe zuführt.

Diese drei Pumpen werden bei einer Niederdruckmaschine gewöhnlich mit Hilfe eines großen, einem gewaltigen Wagebalken vergleichbaren Hebels, des Balanciers, an welchen die Pumpenstangen angehängt sind, getrieben. Der Balancier überträgt dann zugleich die Bewegung der Kolbenstange auf die Schwungradwelle, indem die erstere nicht unmittelbar mit der Pleuelstange verbunden, sondern an dem einen Ende des Balanciers befestigt ist, während die Pleuelstange an dem anderen Ende hängt.

Zu den Nebenapparaten des Dampfkessels gehört ferner noch ein Manometer, eine Vorrichtung, durch welche die Spannung des Dampfes gemessen wird; sodann ein Sicherheitsventil, welches dem Dampfe einen Abzug gestattet, wenn der Druck desselben den Kessel zu sprengen droht; schließlich ein Wasserstandszeiger, durch welchen die Höhe des Wassers im Kessel angegeben wird.

In den Maschinen mit Kondensator wird die Dampfkraft offenbar besser ausgenutzt als in den Maschinen ohne Kondensator; die letzteren bieten dagegen den Vorteil, daß sie einen kleineren Raum einnehmen und einfacher eingerichtet sind.

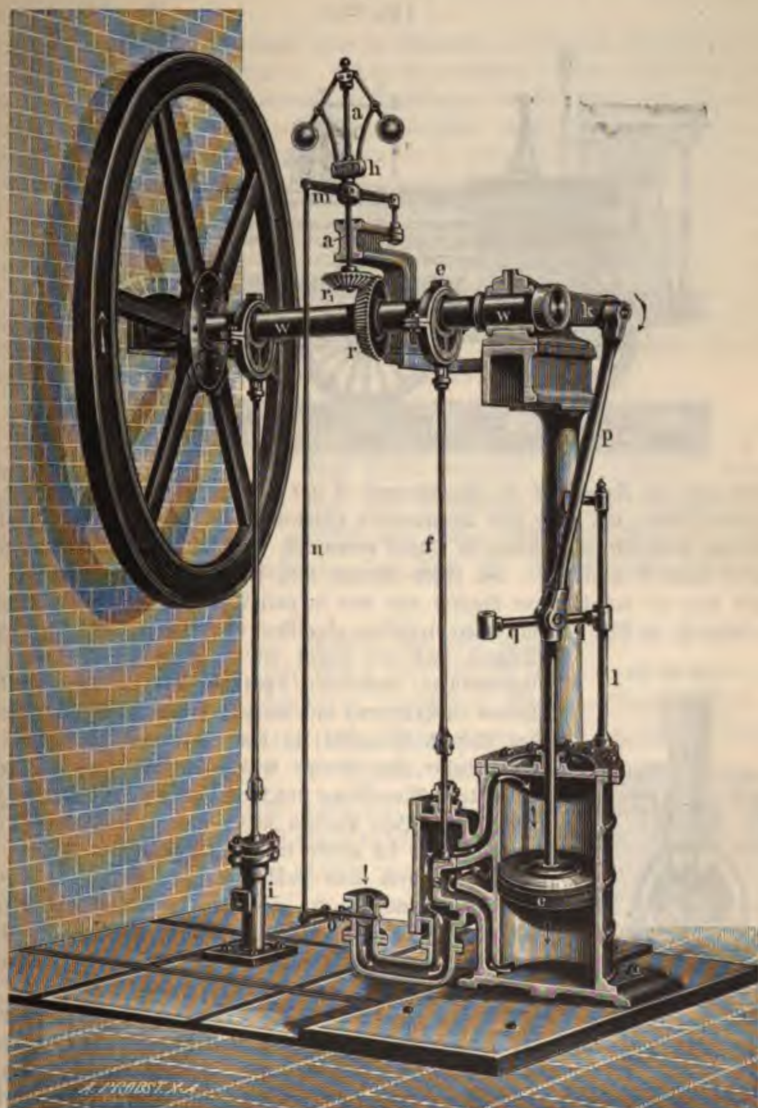
Niederdruckmaschinen arbeiten mit Dampf von 1—2 Atmosphären (§. 60, Anm.) Spannung; bei Hochdruckmaschinen kann die Dampfspannung bis zu 10 Atmosphären betragen; Maschinen, in welchen der Dampf eine Spannung von 2—4 Atmosphären hat, bezeichnet man auch als Mitteldruckmaschinen.

Der theoretische Effekt einer Dampfmaschine wächst offenbar in gleichem Verhältnisse mit der Größe der Kolbenfläche und dem Drucke des Dampfes. (Dabei ist für Maschinen ohne Kondensator nur der Überdruck des Dampfes über den Druck der äußeren Luft [1 Atm.] in Rechnung zu ziehen.) Ein großer Teil dieser Arbeit geht aber durch die Reibung verloren; ein anderer wird auf die Steuerung und die Bewegung der Pumpen verwandt. Der gesamte Verlust kann bis zu 50% steigen. — Man drückt die Leistungen einer Maschine gewöhnlich in Pferdekräften aus. (Vergl. §. 44, a, Anm.)

Bei der oben abgebildeten Maschine wird die Zufuhr des Dampfes für jeden Kolbenhub erst unterbrochen, wenn der Kolben seinen höchsten oder tiefsten Stand erreicht hat. Bei sehr vielen Maschinen findet die Absperrung des Dampfes schon früher statt. So giebt es z. B. Maschinen, bei denen der Dampf abgestellt wird, wenn der Kolben erst $^1/_2$, $^1/_3$ oder $^1/_4$ seines Weges zurückgelegt hat. Der Dampf treibt auch dann noch vermöge seiner Ausdehnsamkeit oder Expansion den Kolben weiter, wenn auch wegen der Ausdehnung mit abnehmender Kraft. Man unterscheidet hiernach Maschinen ohne Expansion und solche mit Expansion. Die letzteren arbeiten vorteilhafter, da sie die Dampfkraft stärker ausnutzen.

Der oben beschriebene Versuch (Fig. 330) ist schon von Papin 1687 angestellt worden; die erste ampfmaschine aber, bei welcher ein Kolben durch die Kraft des Dampfes gehoben wurde, ist nach dem ch diesen Versuch dargestellten Principe 1705 von Newkomen in England konstruiert worden. i diesen Maschinen wurde jedoch der Kolben durch die Dämpfe nur empor-, durch den Druck der

(Fig. 333.)



nosphäre aber niedergetrieben, weshalb dieselben auch atmosphärische genannt wurden. Die Dämpfe rden unmittelbar im Cylinder selbst durch in denselben eingespritztes Wasser kondensiert. Im re 1765 konstruierte Watt in England die erste Dampfmaschine mit einem besonderen Kondensator der Einrichtung, welche dieselbe noch gegenwärtig im wesentlichen hat.

Fig. 334 stellt einen Längs-, Fig. 335 einen Querdurchschnitt einer **Lokomotive** dar. Die Einrichtung derselben ist im wesentlichen folgende: Der Feuerraum A befindet sich ganz innerhalb eines großen mit Wasser angefüllten Kastens, des Dampfkessels, und ist ganz mit Wasser umgeben, mit Ausnahme der Stelle a, wo sich eine Thür zur Einbringung des Brennmaterials befindet. Die hellere Schattierung in Fig. 334 zeigt den Stand des Wassers in dem Dampfkessel an. Aus dem Feuerraume A leitet eine Menge Sieteröhren*), deren Lage die Fig. 335 noch deutlicher zeigt,

(Fig. 334.)



die Flamme und den Rauch nach der Rauchkammer B und von da in den Schornstein E. Da auf diese Art das Wasser mit einer sehr ausgedehnten erhitzten Metallfläche in Berührung kommt, so wird rasch eine große Menge desselben in Dampf verwandelt, welcher sich in den oberhalb des Kastens angebrachten Dom D ausbreitet. In diesen mündet oben bei g eine Röhre, die sich durch den Dampfkessel nach der Rauchkammer hinzieht und dort in zwei Arme dd teilt, welche Fig. 335 beide darstellt, während in Fig. 334 nur einer derselben abgebildet ist. Durch dieses Rohr werden die Dämpfe nach den beiden an der Seite der Lokomotive liegenden Cylindern CC fortgeleitet, setzen hier die in denselben befindlichen Kolben in Bewegung und entweichen dann aus den Cylindern durch das Rohr h (Fig. 334) in den Schornstein, wodurch in demselben ein lebhafter Zug bewirkt wird. Die Bewegung der Kolben wird weiter durch Pleuelstange und Kurbel auf die Triebräder der Lokomotive übertragen. Beide Kurbeln stehen senkrecht aufeinander, so daß die eine Maschine sich gerade in ihrem Kraftpunkte befindet, wenn die andere auf ihrem toten Punkte angelangt ist.

(Fig. 335.)



Die Einrichtung der Steuerung s ist die schon oben bei der festliegenden Dampfmaschine beschriebene. — Besondere Erwähnung verdient noch diejenige Vorrichtung, welche die Maschine in den Stand setzt, sowohl vorwärts wie rückwärts zu fahren. Zu diesem Zwecke sind auf der Welle des Triebrades unmittelbar hintereinander zwei excentrische Scheiben PP angebracht, welche in ihrem Gange um 180° differieren. Die an den Ringen dieser Scheiben befestigten Stangen qq sind an ihren Enden durch zwei gebogene Eisenschienen ll verbunden, welche zwischen sich das Ende der Schieberstange m als Gleitstück einfassen. Durch einen Winkelhebel xz kann die ganze Vorrichtung, die sogenannte Coulisse, gehoben oder gesenkt und dadurch die Steuerung nach Willkür der einen oder andern excentrischen Scheibe übertragen werden.

*) In Fig. 334 sind der Übersichtlichkeit halber nur 3 solcher Röhren eingezeichnet.

Endlich ist noch anzuführen, daß das Dampfzuleitungsrohr da, wo es in den Dom D einmündet, durch den Regulator g, eine durchbrochene Scheibe, geschlossen ist, durch deren Drehung der Dampf entweder ganz oder teilweise abgesperrt werden kann, sowie daß sich auch an der Lokomotive, wie an der festliegenden Dampfmaschine, Sicherheitsventile v, Manometer u. dergl. m. vorfinden.

Im Jahre 1807 kamen zuerst die Dampfschiffe in Amerika und 1815 die Lokomotiven auf Eisenbahnen in England und zwar zunächst für Kohlentransport, dann 1830 auch für die Beförderung von Personen in Gebrauch.

Neben der Dampfkraft ist neuerdings auch die Spannung erhitzter Luft mit Erfolg zum Betriebe von Bewegungsmaschinen verwandt worden. Bei der kalorischen oder Heißluft-Maschine wird ein Kolben in einem Cylinder durch abwechselnde Erwärmung und Abkühlung und hierdurch bewirkte Ausdehnung und Zusammenziehung der in dem Cylinder enthaltenen atmosphärischen Luft in Bewegung gesetzt. — Bei der Gasmaschine wird ein in einen Cylinder eingelassenes Gemenge von (viel) atmosphärischer Luft und (wenig) Leuchtgas entzündet und die durch die Explosion erzeugte motorische Kraft zur Bewegung des in dem Cylinder befindlichen Kolbens benutzt. Die Entzündung des Gasgemenges geschieht durch ein Gasflämmchen, welches vermittelst eines Schiebers von dem inneren Raum des Cylinders abgesperrt und mit demselben in Verbindung gesetzt werden kann. — Die beiden erwähnten Arten von Kraftmaschinen eignen sich ganz besonders für den Kleinbetrieb und finden eine immer größere Verbreitung, da sie verhältnismäßig geringe Betriebskosten erfordern und sich durch gänzliche Gefahrlosigkeit auszeichnen. Die Gasmaschine bietet noch den wesentlichen Vorteil, daß sie keiner Anheizung bedarf, sondern augenblicklich in Gang gesetzt werden kann.

§. 243. Dämpfe mit Gasen vermischt. Im vorhergehenden haben wir die Dämpfe hauptsächlich nur in dem Falle betrachtet, daß dieselben einen Raum allein erfüllen. Wir haben nun noch das Verhalten derselben kennen zu lernen, wenn in einem Raume Dämpfe zugleich mit Gasen vorhanden sind, wie dies z. B. bei der atmosphärischen Luft beständig der Fall ist, welche außer Gasen jederzeit auch Wasserdampf enthält.

Über diesen Fall führen wir zunächst das von dem Engländer Dalton (1802) aufgestellte und nach ihm benannte Gesetz an: Wenn in einem mit atmosphärischer Luft oder anderen Gasen erfüllten Raume Wasser oder eine andere Flüssigkeit verdunstet, (deren Dämpfe zu den vorhandenen Gasen keine chemische Verwandtschaft haben), so ist für den mit Gasen erfüllten Raum die Spannkraft und folglich auch die Menge der Dämpfe, welche derselbe bei einer bestimmten Temperatur zu fassen vermag, ebenso groß als für einen gänzlich leeren Raum von gleicher Temperatur und Größe. Der Unterschied ist nur der, daß in einem leeren Raume die Dampfbildung fast augenblicklich, in einem mit Gasen bereits erfüllten Raume allmählich erfolgt. Die Spannkraft des Gemenges von Gasen und Dämpfen ist aber gleich der Summe der Spannkräfte der einzelnen Bestandteile.

Wie wir schon im vorhergehenden gesehen haben, vermag ein Raum um so mehr Dämpfe zu fassen, je höher seine Temperatur ist. Ist ein Raum mit Dämpfen gesättigt, d. h. sind in demselben wirklich so viele Dämpfe vorhanden, als derselbe vermöge der stattfindenden Temperatur zu fassen vermag, so muß jede Erniedrigung der Temperatur mit einer Kondensation eines Teiles der vorhandenen Dämpfe verbunden sein. Dasselbe muß auch bei einem nicht mit Dämpfen gesättigten Raume eintreten, wenn die Temperatur desselben unter denjenigen Punkt herabgeht, bei

welchem die in dem Raume vorhandenen Dämpfe denselben sättigen würden. Dieser Punkt, unter welchen die Temperatur eines Raumes nicht erniedrigt werden darf, ohne daß ein Niederschlag eines Teiles der vorhandenen Dämpfe erfolgt, wird der Taupunkt genannt.

Wenn man in einen Raum, in welchem sich Dämpfe befinden, einen Körper bringt, dessen Temperatur unter dem Taupunkte liegt, so schlagen sich die mit dem kälteren Körper in Berührung kommenden und hierdurch abgekühlten Dämpfe an demselben nieder. Auf diese Art kann man sich leicht überzeugen, daß in der atmosphärischen Luft jederzeit Dämpfe vorhanden sind. Ebenso beruht hierauf das Betauen der durch die äußere Luft abgekühlten Fensterscheiben eines erwärmten Zimmers zur Herbst- oder Winterszeit, ferner das sogenannte Schwitzen der Steine, wenn nach vorhergegangener kälterer Witterung wärmere Witterung eintritt und die Steine noch nicht die Temperatur der wärmeren Luft angenommen haben, u. dgl. m.

Man unterscheidet in der Physik zwischen absoluter und relativer Feuchtigkeit, indem man unter ersterer die Menge der in einem Raume vorhandenen Dämpfe, unter letzterer das Verhältnis zwischen der Menge der wirklich vorhandenen Dämpfe und der Menge der Dämpfe versteht, welche der Raum bei der stattfindenden Temperatur überhaupt zu fassen vermag.

Die Verdunstung des Wassers, das Wachstum der Pflanzen, das Wohlsein der Tiere und der Menschen hängt nicht so sehr von der absoluten und relativen Feuchtigkeit, als von der Trockenheit der Luft ab, wenn wir unter der Trockenheit der Luft die Menge der Dämpfe verstehen, welche derselben zur Sättigung noch fehlen. Demgemäß nennen wir auch im gewöhnlichen Leben die Luft trocken oder feucht, je nachdem die fehlende Menge groß oder klein ist. — Die Luft ist natürlich am feuchtesten, wenn sie mit Dämpfen gesättigt ist; die geringste Abkühlung bewirkt dann schon einen Niederschlag. — Bei gleichem absoluten Feuchtigkeitsgehalte an einem kalten Wintertage und einem warmen Sommertage kann die Luft an ersterem nahezu oder vollständig mit Dämpfen gesättigt, an dem letzteren wegen der hohen Temperatur weit von der Sättigung entfernt sein, so daß wir dieselbe Luft an dem Wintertage als sehr feucht, an dem Sommertage als trocken bezeichnen. Haben zwei Tage gleiche relative Feuchtigkeit, ist aber an dem einen die Luft erheblich wärmer als an dem andern, so erfolgt an dem ersteren wegen der größeren Trockenheit der Luft die Verdunstung bei weitem rascher als an dem letzteren. — Die Verdunstung hängt übrigens nicht bloß von der Temperatur des verdunstenden Wassers und der Trockenheit der Luft, sondern auch von der Stärke des Windes ab, durch welchen an die Stelle der über der Oberfläche des Wassers liegenden feuchteren Luftschichten trocknere geführt werden.

Um die Größe der täglichen oder jährlichen Verdunstung zu finden, stellt man im Freien Gefäße mit Wasser, welche man durch ein in einiger Höhe angebrachtes Dach gegen den Regen schützt (Atmometer), auf und beobachtet, um wie viel sich das Wasser infolge der Verdunstung vermindert. Diese Instrumente können jedoch aus bald einleuchtenden Gründen nur ein sehr ungenaues Maß der Größe der an der Erdoberfläche wirklich stattfindenden Verdunstung geben.

§. 244. **Hygrometrie.** Um den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu ermitteln, sind Instrumente von sehr verschiedener Einrichtung, welchen man im allgemeinen den Namen Hygrometer giebt, erfunden worden. Das gegenwärtig gebräuchlichste ist ein Instrument, welches den besonderen Namen Psychrometer führt. Dasselbe besteht aus zwei genau übereinstimmenden, neben einander aufgehängten Thermometern (Fig. 336), bei welchen die Kugel des einen mit Musselin umwickelt ist, der in ein unmittelbar darunter stehendes Gefäß mit Wasser reicht und hierdurch beständig

euchtt erhalten wird. Von diesen beiden Thermometern zeigt das trockene die Temperatur er Luft an; das andere aber, dessen Kugel mit feuchtem Musselin umwickelt ist, muß infolge der durch die Verdunstung des Wassers herbeigeführten Wärmebindung etwas niedriger stehen.*) Je trockener die Luft ist, um so rascher muß die Verdunstung geschehen und um so größer auch die hierdurch bewirkte Abkühlung sein. Umgekehrt wird man daher auch aus dem verschiedenen Stande des trockenen und des angefeuchteten Thermometers auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft schließen und denselben mit Hilfe besonders zu diesem Zwecke berechneter Tabellen bestimmen können. — Da die Schnelligkeit der Verdunstung nicht bloß von der Trockenheit der Luft, sondern auch von der Stärke des Windes abhängt, so muß man das Psychrometer im Freien an einem gegen starken Luftzug geschützten Orte unter künstlicher Erregung eines mäßigen Luftzuges beobachten.

(Fig. 336.)



Durch hygrometrische Beobachtungen hat man gefunden, daß der absolute Feuchtigkeitsgehalt am Tage größer als in der Nacht und im Sommer größer als im Winter ist, was sich leicht aus der Wirkung der Sonnenstrahlen erklärt. Dagegen ist die Luft einige Stunden nach Mittag (zur Zeit der größten Tageswärme) und im Mai relativ am trockensten und des Morgens vor Sonnenaufgang und gegen Ende Dezember relativ am feuchtesten.

Für Berlin beträgt die mittlere jährliche Spannung des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserımpfes etwa 6,6 mm. Sie ist im Januar am kleinsten, nämlich = 3,9 mm; im Juli aber am ößten, ungefähr = 10,7 mm.

Im östlichen Europa, besonders aber in Sibirien und im östlichen Nordamerika, ist die Luft i weitem trockener und der Himmel heiterer als im westlichen Europa, was seinen Grund in dem . 235 erwähnten) Vorwalten der westlichen Winde hat, welche dem westlichen Europa die feuchte eeluft unmittelbar zuführen, während diese zu den vorher genannten Ländern erst gelangt, nachdem : ihren Lauf über weite Strecken festen Landes genommen hat. Die Regenmenge und die Zahl r Regentage ist bei gleicher Jahreswärme in Amerika nicht geringer als in Europa; aber nach dem ufhören des Regens zeigt die Luft in Amerika sehr bald wieder einen hohen Grad von Trockenheit.

Die folgende Tabelle giebt das der Temperatur (t) entsprechende Gewicht des in einem Kubikıeter enthaltenen Dampfes in Grammen (g) an, wenn der Raum bei der betreffenden Temperatur anz mit Dämpfen gesättigt ist.

t	g	t	g	t	g	t	g	t	g
−20°	1,06	4°	6,38	12°	10,62	20°	17,23	28°	27,10
−15	1,39	5	6,81	13	11,31	21	18,26	29	28,63
−10	2,30	6	7,27	14	12,04	22	19,37	30	30,23
− 5	3,36	7	7,67	15	12,81	23	20,50	31	31,91
0	4,89	8	8,07	16	13,59	24	21,59	32	33,66
1	5,23	9	8,82	17	14,43	25	22,95	33	35,51
2	5,59	10	9,38	18	15,14	26	24,27	34	37,43
3	5,98	11	9,99	19	16,26	27	25,69	35	39,51

*) Die Temperatur des feuchten Thermometers liegt natürlich zwischen dem Taupunkte und der Temperatur des trockenen Thermometers und zwar gewöhnlich nahezu in der Mitte zwischen beiden. Ist die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt, so fallen alle drei zusammen.

Mit Hilfe dieser Tabelle läßt sich aus den Angaben des Psychrometers der Feuchtigkei der Luft nach der folgenden Formel

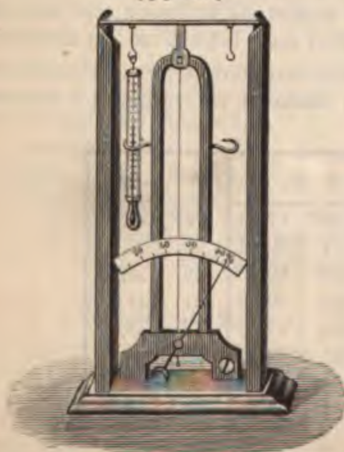
$$f = f' - c(t - t')$$

berechnen, in welcher t die Temperatur des trockenen, t' die Temperatur des feuchten Therm f das Gewicht der in einem Kubikmeter der zu untersuchenden Luft wirklich enthaltenen, f' a Gewicht der größten Dampfmenge, welche ein Kubikmeter bei der Temperatur t' zu fassen ve und c einen Koefficienten bedeutet, dessen Größe von verschiedenen Umständen, dem Barometi von der Größe des Raumes, in welchem die Beobachtung angestellt wird, ferner, ob derselbe ga oder teilweise geschlossen ist u. dgl., abhängt, und für welchen wir hier den Mittelwert 0,65 an wollen. Ist nun z. B. am Psychrometer beobachtet $t = 20^0$ und $t' = 15^0$, so ist nach der Tabelle $f' = 12{,}81$ und folglich das Gewicht der in einem Kubikmeter Luft enthaltenen menge $f = 12{,}81 - 0{,}65 \times 5 = 9{,}56$ g. Die Trockenheit dieser Luft, d. h. die Damp welche einem Kubikmeter bei der stattfindenden Temperatur von 20^0 zur Sättigung noch f $= 17{,}23 - 9{,}56 = 7{,}67$ g.

Die Angaben des Psychrometers, welches von August (1829) angegeben worden ist, wegen der mannigfachen vorhin angeführten Nebenumstände, welche auf dieselben von Einfl keine volle Sicherheit gewähren. Dieses letztere gilt auch von dem früher als das Psychrometer erf Hygrometer von Daniell, dessen Mängel Regnault in seinem Kondensationshygrometer hat. Regnaults Kondensationshygrometer besteht aus einem Gefäße von sehr dünnem, wohl p Silber, auf welches das eine Ende eines beiderseits offenen Glasrohres aufgekittet ist. Di Öffnung ist durch einen Kork verschlossen, durch welchen ein Thermometer und zwei Glas hindurchgehen, von denen das eine längere bis auf den Boden des Silbergefäßes reicht, das kürzere unmittelbar unter dem Korke endet. Wird der Apparat nun mit Äther gefüllt und das Rohr durch einen Kautschukschlauch mit einem Aspirator verbunden, so treten durch das länge Luftblasen ein, steigen in dem Äther empor und bewirken hier eine starke Verdunstung. Ist dessen die Temperatur des Äthers und die des dünnen Silbergefäßes bis zur Temperatur des Tau gesunken, so beschlägt das Silbergefäß. Als Aspirator dient ein mit Wasser angefüllter Ga dessen Ausfluß so reguliert wird, daß die Abnahme der Temperatur in der Nähe des Taupunk ganz allmählich erfolgt.

Zur Abschätzung des relativen Feuchtigkeitsgehaltes der Luft können auch hygrosk Substanzen (s. §. 77, Anm.) dienen. Unter den aus diesen konstruierten Instrumenten hat di Verbreitung das Haarhygrometer von Sauss funden, bei welchem die Ausdehnung oder Verk welche ein Menschenhaar in feuchter oder trocken erfährt, zum Maße der relativen Feuchtigkeit dient den Untersuchungen, welche neuerdings K. Kopp Haarhygrometer angestellt hat, läßt sich ein solch strument auch zu wissenschaftlich verwertbaren Bestimm benutzen, wenn dafür gesorgt wird, daß irgend ei der an dem Instrument angebrachten Skala kon werden kann. Fig. 337 stellt ein von Koppe ange Prozenthygrometer mit Justiervorrichtun Dasselbe besteht aus einem gut gereinigten Haar, am oberen Ende befestigt und am untern um ein Rolle geschlungen ist, deren Achse einen Zeiger Eine schwache Feder aus Neusilberdraht hält da gespannt. Die Einteilung der Skala ist mit Hil Regnaultschen Kondensationshygrometers gewonnen Kontrolle wird das ganze Instrument in ein Blech gestellt, welches vorn durch eine Glasscheibe, hinte einen Schieber geschlossen werden kann. Wird nun in den so geschlossenen Raum ein mit M überzogener Rahmen eingeschoben, und zwar nachdem man den Musselin gehörig durchfeuchtet

(Fig. 337.)



sättigt sich wegen der verhältnismäßig großen Verdunstungsoberfläche der innere Raum des Kästchens sehr rasch vollständig mit Feuchtigkeit und der Zeiger muß nunmehr auf den Teilstrich 100 einspielen, welche Einstellung nötigenfalls berichtigt werden kann. Das so justierte Instrument zeigt, nachdem man Schieber, Gewebe und Glas fortgenommen hat, nach einigen Minuten den relativen Feuchtigkeitsgehalt des zu prüfenden Raumes richtig an.

§. 245. **Nebel, Wolken.** Befindet sich in einem Gefäße Wasser, welches eine bedeutend höhere Temperatur hat als die umgebende Luft, so erblickt man über demselben einen aufsteigenden Schwaden oder Dunst, durch welchen die Durchsichtigkeit der Luft getrübt wird. Indem nämlich die von der heißen Flüssigkeit emporsteigenden Dämpfe in kältere Luftschichten gelangen, verdichten sie sich zu tropfbarflüssigem Wasser; es bilden sich sehr kleine Dunstkörperchen.*) Diese werden in der Luft schwebend erhalten, teils durch ihre außerordentliche Kleinheit, wie ja Ähnliches auch von den sogenannten Sonnenstäubchen gilt; teils werden sie durch die von der wärmeren Flüssigkeit aufsteigenden Luftströme emporgetrieben.

Eine ganz gleiche Entstehung haben die Nebel, welche man besonders im Herbste des Abends über Flüssen, Teichen oder feuchten Wiesen, wenn das Wasser oder der Erdboden eine höhere Temperatur als die Luft hat, ferner im Winter, besonders bei großer Kälte, über offenen, quellenreichen Gewässern erblickt. Diese Nebelmassen scheinen bei windstillem Wetter unbeweglich an derselben Stelle zu bleiben; bei aufmerksamerer Beobachtung bemerkt man jedoch in denselben eine lebhafte Bewegung und ein beständiges Aufsteigen der Dunstteilchen. — Nebel können übrigens nicht bloß in den angeführten Fällen, sondern überhaupt entstehen, wenn sich feuchte warme Luftmassen mit kälteren vermischen.

Von den Nebeln sind die Wolken nur durch die größere Höhe, in welcher sie schweben, verschieden, wie man, zumal in gebirgigen Gegenden, sich leicht überzeugen kann. Ein Beobachter im Thale erblickt den Gipfel eines Berges in Wolken eingehüllt, während ein Beobachter auf dem Berge selbst sich von einer Nebelmasse umgeben sieht. — Aus dem Gesagten geht schon hervor, daß die Wolken sich bis zu jeder Tiefe herabsenken können. Die größte Höhe, bis zu welcher sich dieselben erheben, kennt man nicht; sie übersteigt 8000 m, da man noch über den höchsten Bergen Wolken beobachtet hat. Zu den am niedrigsten hinziehenden Wolken gehören im allgemeinen die Regenwolken, zu den höchsten die sogenannten Schäfchen.

Die Wolken entstehen so wie der Nebel durch die Vermischung feuchterer und wärmerer Luftschichten mit kälteren. (Wenn wir im Winter im Freien atmen, so schlagen sich die ausgeatmeten Dämpfe in Form einer Wolke nieder.) Ebenso wie in den Nebeln finden auch in den Wolken beständige Bewegungen statt; nicht leicht behält eine Wolke längere Zeit die nämliche Gestalt bei. In den Gebirgen sieht

*) Nach neueren Untersuchungen (von Aßmann, Kießling u. a.) sind die kleinen Dunstkörperchen nicht Bläschen, wie man früher annahm, sondern Kügelchen. — Nach den Untersuchungen von Aitken scheint ferner die Kondensation des Wasserdampfes an den feinsten in der Luft schwebenden Staubteilchen stattzufinden, also das Vorhandensein von Staub die notwendige Vorbedingung der Nebel- und Wolkenbildung zu sein.

man häufig die Wolkenbildung an den Gipfeln der höchsten Berge ihren Anfang nehmen. Nicht selten sind bei übrigens heiterem Himmel die höheren Gebirge in Wolken eingehüllt. Der Grund dieser Erscheinung besteht darin, daß die in wagerechter Richtung bewegten Luftmassen durch die Gebirge emporzusteigen genötigt werden und, indem sie so in höhere und kältere Regionen gelangen, sich die Dämpfe derselben kondensieren, weshalb auch in den Gebirgen die jährliche Regenmenge im allgemeinen größer ist als in den benachbarten Ebenen.

Daß die **Wolken** gewöhnlich in **größeren Höhen schweben**, seltener als Nebel auf der Erdoberfläche lagern, hat seinen Grund hauptsächlich in der mit der Höhe abnehmenden Lufttemperatur. Die durch Verdunstung vom Meerwasser aufsteigenden Dämpfe müssen sich nämlich verdichten, sowie sie bei ihrem Emporsteigen in eine Luftschicht von hinreichend niedriger Temperatur gelangen. Die Höhe, in welcher diese Verdichtung erfolgt, wird um so geringer sein, je höher im Vergleich mit der Temperatur der Luft die Temperatur des Meerwassers ist. Die Nebel gehören daher vorzugsweise dem Winter und den kälteren Klimaten an; dagegen müssen im allgemeinen die Wolken im Sommer in größerer Höhe als im Winter, in heißen Klimaten höher als in kälteren schweben. — Überdies haben wir uns eine Wolke keineswegs als einen beständig aus der nämlichen Masse bestehenden Körper zu denken. Nicht selten sieht man vom Thale aus auf dem Gipfel eines Berges eine Wolke ruhen, deren Lage und Gestalt längere Zeit scheinbar dieselbe bleibt, während ein Beobachter in der Nebelmasse selbst die lebhaftesten Bewegungen wahrnimmt. Ebenso kann es geschehen, daß eine frei schwebende Wolke sich allmählich senkt und, indem sie in wärmere Luftschichten gelangt, die Dunstteilchen derselben sich wieder auflösen, während die Dämpfe aufsteigender wärmerer und feuchterer Luftströme, sowie sie in die kälteren Regionen kommen, sich zu Dunstkörperchen verdichten und die Wolke erneuern, welche, von der Ebene aus gesehen, beständig an derselben Stelle zu schweben scheint.

Die Wolken werden in die folgenden Hauptklassen eingeteilt:

1) Die **Federwolke** (cirrus), eine dünne, zarte weiße Wolke am blauen Himmel, welche di verschiedenartigste Gestalt annimmt, oft das Ansehen kleiner Federn, Flocken oder feiner Streifen hat. Nicht selten erstrecken sich die Federwolken, in lange Reihen angeordnet, über den Himmel hin. Si bilden die am höchsten schwebenden Wolkenformen, befinden sich in einer Höhe von mehreren 1000 m woselbst die Lufttemperatur tief unter Null ist, und müssen daher aus kleinen Eisnadeln bestehen. — Ihr Erscheinen am blauen Himmel deutet häufig auf das Herannahen einer barometrischen Depressio (s. §. 235, Anm.).

2) Die **Haufenwolke** (cumulus). Man sieht dieselben besonders im Sommer wie groß schwere Massen am Himmel schweben. Von der Sonne beschienen, erscheinen sie weiß, und in de Nähe des Horizonts nehmen sie das Ansehen ferner Gebirge an.

3) Die **Schichtwolke** (stratus), welche, wagerecht ausgebreitet, große Strecken des Himmel bedeckt und sich wie die Haufenwolke in den unteren Schichten der Atmosphäre befindet.

Übergangsformen sind die **federige Haufenwolke** (cirro-cumulus), gewöhnlich **Schäfche** genannt, die **federige Schichtwolke** (cirro-stratus), welche den Himmel in großer Höhe wie ei dünner, durchscheinender Schleier bedeckt und meistens die Veranlassung zu Ringen um Sonne un Mond bildet (s. §. 212), und die **geschichtete Haufenwolke** (cumulo-stratus), welche häufig zu **Regenwolke** (nimbus) wird.

§. 246. Regen, Schnee, Hagel. Wenn die Dunstteilchen in einer Wolke sich in zu großer Menge anhäufen, so vereinigen sie sich zu Tropfen und fallen als Regen nieder. Die Menge des niederfallenden Regens wird gemessen, indem man denselben in Gefäßen mit senkrechten Wänden (Regenmessern), welche man im Freien aufstellt, auffängt und die Höhe beobachtet, bis zu welcher das Regenwasser in diesen Gefäßen steigt. Bis zu der nämlichen Höhe müßte dasselbe auch die Erdoberfläche bedecken, wenn es nirgend einen Abfluß hätte und nicht durch die Verdunstung vermindert würde.

Die Menge des jährlichen Regens ist für verschiedene Jahre an dem nämlichen Orte sehr verschieden; sie kann in einem Jahre mehr als doppelt so groß als in einem anderen sein. In der heißen Zone ist die jährliche Regenmenge beträchtlich größer als in der gemäßigten und kalten Zone, was sich leicht aus der durch die größere Wärme bewirkten stärkeren Verdunstung erklärt. In den niederen Breiten stürzt der Regen in weit stärkeren und dichteren Güssen nieder als in höheren Breiten. Bei Orten, welche unter derselben Breite liegen, wird das Verhältnis der jährlichen Regenmenge vorzüglich durch die Nähe des Meeres und die herrschende Windrichtung bedingt. Da in den tropischen Gegenden die östlichen, in den gemäßigten Zonen die westlichen Winde überwiegen, so sind dort die östlichen, hier die westlichen Küsten die an Regen reichern. So zeichnen sich insbesondere die westlichen Küsten von Europa durch häufige und reichliche Regen aus. — Von wesentlichem Einflusse auf die Menge und Häufigkeit des Regens sind ferner hohe Gebirgszüge, indem dieselben, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, überhaupt die Wolkenbildung und also auch die Entstehung des Regens begünstigen. Außerdem ist aber auch die Lage und Richtung derselben von großem Einfluß auf die Menge und Häufigkeit des Regens, wozu das in der Richtung von Norden nach Süden durch ein hohes Alpengebirge durchschnittene Skandinavien ein höchst auffallendes Beispiel liefert. Indem die durch westliche Winde herbeigeführten Regenwolken sich vorzüglich an der Westseite dieses Gebirges entladen, hat z. B. Bergen eine den Tropenländern gleiche und eine vier- bis fünfmal größere Regenmenge als das östlich gelegene Stockholm.

Wenn die Kondensation der Dämpfe in solchen Luftschichten erfolgt, deren Temperatur unter dem Gefrierpunkte liegt, so verdichten sich dieselben zu kleinen Schneeteilchen, welche bei stärkerer Anhäufung als Schneeflocken niederfallen. Fängt man dieselben mit einem unter 0° erkalteten Körper auf, so sieht man, daß sie gewöhnlich die Gestalt regelmäßiger, sechseckiger Sterne haben, wovon Fig. 338 einige Beispiele zeigt. Gelangen die Schneeflocken bei ihrem Niederfallen in Regionen, deren Temperatur mehrere Grade über Null liegt, so lösen sie sich zu Regen auf. Auf diese Art geschieht es häufig, daß auf den Bergen Schnee fällt, während es im Thale regnet.

(Fig. 338.)



Eine der merkwürdigsten Naturerscheinungen ist der Hagel, für dessen Entstehung zur Zeit eine ganz gesicherte Theorie noch fehlt.

Der kleinere Hagel, welchen man gewöhnlich **Graupeln** nennt, ist am häufigsten im Winter und Frühjahr, der größere Hagel dagegen, welcher **Schloßen** genannt wird, im Sommer. — Die Graupeln haben meistens eine rundliche Gestalt, sie sind stets undurchsichtig und haben fast die weiße Farbe des Schnees; ihr Durchmesser beträgt meist nur wenige Millimeter. — Die Schloßen sind gewöhnlich länglichrund, fast birnförmig; sie bestehen meist aus einem undurchsichtigen, den Graupeln ähnlichen Kerne, welcher von einer durchsichtigen Eisrinde umgeben wird. Größere Hagelkörner sind aus abwechselnden, durchsichtigen und undurchsichtigen Schichten zusammengesetzt. Ihr Durchmesser erreicht zuweilen die Größe von mehr als fünf Centimeter. — Dem Niederfallen der Schloßen geht meistens ein starkes Geräusch in der Luft voraus, welches wahrscheinlich durch die aufeinander treffenden Körner erzeugt wird; gewöhnlich sind die Schloßen von Bliß und Donner begleitet. — Die vom Hagel getroffenen Gegenden bilden in der Regel lange schmale Streifen. — Der Hagel gehört vorzüglich der gemäßigten Zone an. In der heißen Zone gehört derselbe, besonders in den Ebenen, zu den seltenen Erscheinungen; in der kalten Zone kommen häufig Graupeln, dagegen nur selten Schloßen vor.

Fig. 339 stellt einen Regenmesser dar, welcher an den meteorologischen Stationen in Preußen im Gebrauch ist. Derselbe besteht aus dem cylindrischen Auffangegefäße a, dem darunter befindlichen Sammelgefäße b und dem Meßglase c. Um die Verdunstung des in dem unteren Gefäße sich ansammelnden Regenwassers möglichst zu hindern, läuft das Auffangegefäß nach unten in einen engen Trichter aus und verschließt so das Sammelgefäß bis auf die kleine Öffnung dieses Trichters. Unten endigt das letztere in ein kurzes, durch einen Hahn verschließbares Ansatzrohr, durch welches man das Regenwasser in den mit einer Skala versehenen Meßcylinder ablaufen lassen kann. Um die wirkliche Höhe des gefallenen Regens zu finden, muß man das Verhältnis von dem Querschnitt des Meßcylinders zur oberen Öffnung des Auffangegefäßes kennen. Das Wasser erreicht nämlich offenbar in dem Meßglase eine Höhe, welche im Vergleich zur wirklichen Regenhöhe sovielmal so groß ist, als der Querschnitt des Meßglases in der Auffangefläche enthalten ist. Ein solcher Regenmesser gestattet eine recht genaue Bestimmung der Höhe des gefallenen Regens.

(Fig. 339.)



An dem nämlichen Orte ist die von gleichen Regenmessern unter übrigens gleichen Umständen aufgefangene Regenmenge in größerer Höhe über dem Boden etwas geringer. Zur Erklärung dieser Erscheinung nahm man früher an, daß die Regentropfen bei ihrem Herabfallen durch die mit Dämpfen gesättigte Luft sich fortwährend vergrößerten. Neuere Beobachtungen aber haben ergeben, daß die erwähnte Erscheinung auf einer Wirkung des Windes beruht. Infolge der Reibung, welche die bewegte Luft an der Oberfläche der Erde erfährt, wird nämlich die Geschwindigkeit des Windes gegen den Erdboden hin verzögert, ist also in größerer Höhe bedeutender. Durch den Wind werden aber die Regentropfen am Auffangegefäß des Regenmessers abgelenkt und zwar um so mehr, je stärker der Wind weht; daher fallen in das Gefäß bei größerer Höhe etwas weniger Regentropfen. Zufolge des Vorstehenden muß man bei genauen Bestimmungen auch die Höhe des Regenmessers über dem Erdboden berücksichtigen. Um die wirkliche Menge des gefallenen Regens richtig abzumessen, würde man das Auffangegefäß in der Höhe des Erdbodens anbringen müssen. Da dies aber aus anderen Gründen, insbesondere wegen der im Winter möglichen Schneeverwehungen, nicht thunlich erscheint, so stellt man die Regenmesser gewöhnlich 1—2 m über dem Erdboden auf.

In Deutschland kommen auf das Jahr etwa 156 Regentage; die Zahl der Regentage des Sommers ist von der des Winters nicht erheblich verschieden; die Menge des Regens ist dagegen im Sommer beträchtlich größer als im Winter. Bei einem Gewitter fällt im Sommer mehr Regen auf einmal nieder als im Winter in mehreren Wochen. Die jährliche Regenmenge beträgt in Centimetern für Prag etwa 47, Wien 59, Berlin 59, für Göttingen 55, für Straßburg 67; sie steigt zu Claust

im Harze bis auf 143 cm, indem an diesem höchsten Gebirge des nordwestlichen Deutschlands die von der See her wehenden Regenwinde ihren Feuchtigkeitsgehalt besonders reichlich entladen.

Unter allen meteorologischen Stationen besitzt Cherraponje, am Südabhange des Himalaya-Gebirges in Bengalen in der Höhe von 1340 m gelegen, die größte jährliche Regenmenge, nämlich 1420 cm. Die Regenzeit umfaßt in der Regel die Monate Mai bis September, in denen die durch den Südwest-Monsun (§. 234) vom Meere herbeigeführte warme, mit Wasserdampf reich versehene Luft beim Emporsteigen am Südabhange des Gebirges ihren Dampfgehalt in den heftigsten Regengüssen wieder abgiebt; in den übrigen Monaten, in denen der Nordost-Monsun vom Lande her weht, regnet es verhältnismäßig wenig oder gar nicht.

Überhaupt zerfällt in einem großen Teile der heißen Zone das Jahr in zwei verschiedene Hälften, die nasse und die trockene Jahreszeit. Die erstere fällt im allgemeinen mit den Monaten zusammen, in denen die Sonne am höchsten steht, die letztere mit den Monaten, in welchen sich die Sonne am weitesten vom Zenith entfernt. Orte, welche nicht allzu weit vom Äquator abstehen und daher die Sonne zweimal im Jahre im Zenith, zweimal in beträchtlicher Entfernung von demselben erblicken, haben mehrenteils zwei nasse und zwei trockene Jahreszeiten, die vom Äquator entfernteren Orte nur eine nasse und eine trockene Jahreszeit. Während der ersteren stürzt der Regen zu gewissen Tagesstunden, besonders nachmittags, in den stärksten, von heftigen Gewittern begleiteten Güssen nieder; in den übrigen Tagesstunden ist der Himmel wieder heiter. Der aufsteigende Luftstrom, welchen die große Erhitzung der Erdoberfläche durch die senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen täglich veranlaßt, führt große Massen warmer und feuchter Luft in die oberen Regionen, wo sich die Dämpfe derselben kondensieren. Mit der Entfernung der Sonne vom Zenith nimmt auch die Menge und Dauer des täglichen Regens ab, bis derselbe allmählich mit dem Eintritte des Passatwindes ganz aufhört.

In denjenigen Gegenden der heißen Zone, wo im offenen Meere oder an den Küsten die Passate regelmäßig wehen, ist der Himmel fast beständig heiter und der Regen höchst selten. — Auch in anderen Gegenden, in der Sahara, in Oberägypten, an den Küsten von Arabien, auf der Hochebene von Iran in Persien fehlt der Regen fast gänzlich, indem die trockene Luft über diesen durch die Sonnenstrahlen stark erhitzten Ebenen die durch Winde herbeigeführten Dünste wieder auflöst. Nur wo in diesen Gegenden sich Berge erheben, ist der Regen wieder häufiger. — An den Küsten von Peru und Bolivia kommen zwar häufig Nebel vor; dagegen fehlt eigentlicher Regen, was, wenn auch nicht ausschließlich, doch zum großen Teile darauf beruhen dürfte, daß die im tropischen Südamerika vorwaltend aus Osten, also vom atlantischen Ocean her wehenden und mit Dämpfen geschwängerten Winde, ehe sie den schneebedeckten Kamm der Cordilleren übersteigen, in den mächtigsten Regengüssen, (denen drei der größten Ströme der Erde, der Laplata, der Orinoko und der Amazonenstrom, ihre Entstehung verdanken), ihren Dampfgehalt entleert haben und daher, indem sie sich an der anderen Seite dieser Gebirgskette in wärmere Gegenden herabsenken, keine Dämpfe mehr abgeben können.

C. Specifische Wärme.

*§. 247. **Bestimmung der specifischen Wärme.** Wenn man 1 kg Wasser von 10° mit 1 kg Wasser von 30° vermischt, so zeigen beide Kil. Wasser nach der Mischung 20°*); indem also die Temperatur des einen Kil. Wasser um 10° gesunken ist, ist die des anderen um ebensoviel gestiegen. Überhaupt ist, wenn man zwei gleiche Quantitäten der nämlichen Materie, welche eine ungleiche Temperatur haben, mit einander mischt, die Temperatur des Gemenges gleich dem arithmetischen Mittel

*) Wenn der Versuch ganz rein gelingen soll, muß man dem Gefäße, in welchem man die Mischung macht, schon vorher eine Temperatur von 20° geben, weil im entgegengesetzten Falle auch die Temperatur des Gefäßes auf das Resultat des Versuches von Einfluß ist.

der Temperaturen beider Gemengteile.*) Dieses ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn man gleiche Gewichtsteile verschiedener Materien miteinander mengt. Mischt man z. B. 1 kg Wasser von 10⁰ mit 1 kg Eisenfeilicht von 30⁰, so zeigen dieselben nach der Mischung eine Temperatur von 12⁰. Indem also die Temperatur des Eisens um 18⁰ gesunken ist, ist die des Wassers nur um 2⁰ gestiegen. Wie wir oben (§. 236) gesehen haben, wird die Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 kg Wasser um 1⁰ (genauer von 0⁰ bis 1⁰) zu erhöhen imstande ist, eine **Wärmeeinheit** genannt; das Kil. Eisen hat also 2 Wärmeeinheiten abgegeben und dabei seine Temperatur um 18⁰ erniedrigt. — Mischt man umgekehrt 1 kg Wasser von 30⁰ mit 1 kg Eisen von 10⁰, so zeigt ein in die Mischung getauchtes Thermometer 28⁰. Die 2 Wärmeeinheiten, welche in diesem Falle das Wasser abgegeben hat, haben also in dem einen Kil. Eisen eine Temperaturerhöhung von 18⁰ hervorgebracht. Nach dem Vorstehenden muß 1 kg Eisen, wenn seine Temperatur um 1⁰ zunehmen soll, eine Wärmemenge von $^1/_9$ Wärmeeinheit aufnehmen.

Diejenige Wärmemenge (in Wärmeeinheiten ausgedrückt), welche einem Kilogramme eines Körpers zugeführt werden muß, um seine Temperatur um 1⁰ zu erhöhen, wird die specifische Wärme des Körpers genannt. So beträgt die specifische Wärme des Eisens $^1/_9$, des Kupfers $^1/_{11}$, des Goldes $^1/_{30}$. Von allen festen und flüssigen Körpern besitzt das Wasser die größte specifische Wärme; dieselbe ist ungefähr viermal so groß als die des Erdbodens und doppelt so groß als die des Eises.

Man findet die specifische Wärme der atmospärischen Luft oder anderer Gase, indem man einen Strom des zu untersuchenden und auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Gases vermittelst eines schlangenförmig gekrümmten Rohres durch eine abgewogene Quantität Wasser leitet und die hierdurch in demselben bewirkte Temperaturerhöhung beobachtet.

Durch die einem Körper zugeführte Wärme wird indessen nicht bloß die Temperatur desselben erhöht, der Körper wird auch ausgedehnt, seine Moleküle werden auseinander getrieben. Da also die Wirkung eine doppelte ist, so werden wir auch die diese Wirkung hervorrufende Ursache uns in zwei Teile zerlegt denken können, von denen der eine die Ausdehnung bewirkt und durch diese Arbeit für das Thermometer verschwindet, während der andere die Temperaturerhöhung hervorruft.

Die specifische Wärme der festen und flüssigen Körper erfährt eine kleine Verminderung, wenn der Körper durch Stoß, Druck oder Abkühlung sein Volumen verringert; sie vergrößert sich, wenn das Volumen des Körpers sich vergrößert, (was bei Anwendung der Richmannschen Regel, wenn durch dieselbe ganz genaue Resultate erzielt werden sollen, nicht außer acht zu lassen ist). — Körper, welche man in allotropischen Zuständen kennt, besitzen in denselben verschiedene specifische Wärme; dieselbe ist z. B. bei Coaks und Graphit $1^1/_2$mal so groß als beim Diamanten. — Die specifische Wärme vergrößert sich, wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht, wovon das Wasser ein besonders auffallendes Beispiel darbietet.

---

*) Wenn man zwei ungleiche Quantitäten m und m' der nämlichen Materie, welche die Temperaturen t und t' haben, miteinander mengt, so ist die Temperatur der Mischung $\tau = \frac{mt+m't'}{m+m'}$ (*Richmannsche Regel*).

der Bestimmung der specifischen Wärme der Gase sind wesentlich zwei Fälle zu unterscheiden, das Gas bei der Erwärmung unter konstantem Drucke erhalten wird und folglich auch nnung dieselbe bleibt, sein Volumen aber infolge der Erwärmung sich vergrößert, oder ob n feste Wände eingeschlossen ist, so daß sein Volumen das nämliche bleibt, seine Spannung e der Erwärmung vergrößert wird. Im ersteren Falle ist, da bei demselben zugleich äußere richtet wird, für eine gleiche Temperaturerhöhung eine größere Wärmemenge als in letzterem . (Vergl. unten §. 253, a und b.) Man unterscheidet hiernach die specifische Wärme bei konstantem Drucke und bei konstantem Volumen. Nur die erstere hat man rch unmittelbare Versuche, wie sie oben näher angegeben wurden, bestimmen können; ferner r auch noch (mittelst höherer Rechnung) gelungen, das Verhältnis beider festzustellen. wir für die atmosphärische Luft die specifische Wärme bei konstantem Druck mit c, die Wärme bei konstantem Volumen mit c', so ist nach genauen Untersuchungen

$$c : c' = 1{,}41.$$

gleichen Wert hat das Verhältnis (wenigstens angenähert) auch für die übrigen Gase. — der eben angegebenen Verhältniszahl läßt sich der Wert für die specifische Wärme bei Volumen leicht berechnen, wenn der Wert für die specifische Wärme bei konstantem Druck st. Versuche haben z. B. für die atmosphärische Luft ergeben, daß die specifische Wärme ntem Druck = 0,237 ist; nach dem Vorstehenden muß dann die specifische Wärme der onstantem Volumen $= \frac{0{,}237}{1{,}41} = 0{,}168$ sein.

Angaben der unten folgenden Tabelle für Gase beziehen sich auf konstanten Druck.

ererseits ist die specifische Wärme der Gase von dem Drucke (und also auch von dem Volumen) g, d. h. um die Temperatur einer bestimmten Quantität eines Gases um 1° zu erhöhen, nliche Wärmemenge erforderlich, sowohl wenn dieses Gas infolge eines starken Druckes in n Raum zusammengepreßt ist, als auch wenn dasselbe bei schwächerem Drucke einen größeren nimmt.

den drei einfachen Gasen, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, verhalten sich die specifischen mgekehrt wie die specifischen Gewichte: gleiche Volume dieser Gase erfordern daher für die Temperaturerhöhung gleiche Wärmemengen. Dieser Satz ist ein specieller Fall des von und Petit (1819) aufgefundenen Gesetzes, daß bei den meisten einfachen Stoffen sich die Wärme umgekehrt wie das Atomgewicht verhält, und daß folglich die Atome der (meisten) Stoffe einer gleichen Wärmemenge bedürfen, um eine gleiche Temperatur- zu erfahren. — Ein ähnliches Gesetz gilt von zusammengesetzten Körpern, welche eine nische Zusammensetzung haben.

Tafel der specifischen Wärme einiger Körper.

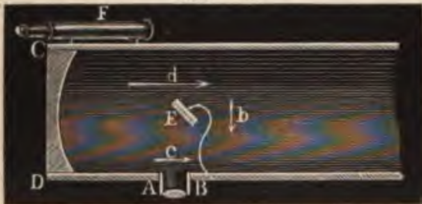
i	0,031	Alkohol	0,602
	0,505	Leinöl	0,528
en	0,114	Quecksilber	0,033
as	0,194	Wasser	1,000
ld	0,032	Chlor	0,121
hsalz	0,214	Kohlensäure	0,217
pfer	0,095	Kohlenwasserstoff, schwerer	0,404
ssing	0,094	Sauerstoff	0,218
tin	0,032	Stickstoff	0,244
hwefel	0,178	Atmospär. Luft	0,237
lber	0,057	Wasserdampf	0,480
lzkohle	0,241	Wasserstoff	3,409
k	0,095		

Gegenstande ab ein imaginäres aufrechtes Bild a′b′. — Die Vergrößerungszahl ist bei dem holländischen Fernrohre ebenso wie bei dem astronomischen dem Quotienten aus der Brennweite des Objektivs und der Brennweite des Okulars gleich. Dasselbe empfiehlt sich durch seine Kürze und wird daher besonders als Operngucker benutzt; es gestattet aber, wenn das Gesichtsfeld nicht allzu klein ausfallen soll, nur mäßige Vergrößerungen.

Vor der Erfindung achromatischer Linsen ließen die dioptrischen Fernröhre wegen der chromatischen Abweichung nur sehr mäßige Vergrößerungen zu. Man hat deswegen auch statt der Linsen als Objektive bei größeren Fernröhren (metallene) Hohlspiegel in Anwendung gebracht. Das am meisten gebräuchliche Spiegelteleskop ist

das Newtonsche Teleskop. Dieses besteht aus einem großen Hohlspiegel CD (Fig. 319), einem kleinen gegen die Achse des Hohlspiegels unter 45° geneigten Planspiegel E und der konvexen Okularlinse AB, welche dem Planspiegel gegenüber an der Seite des Rohres angebracht ist. Die von einem sehr entfernten Gegenstande auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen werden von demselben so zurückgeworfen, daß sie in der Nähe seines Brennpunktes b ein umgekehrtes, verkleinertes Bild erzeugen würden. Ehe sie sich jedoch zu diesem Bilde vereinigen, treffen sie auf den Planspiegel E und werden von demselben so reflektiert, daß dieses Bild nicht in b, sondern in c nahe am Brennpunkte der Okularlinse AB entsteht, welche dieses Bild dem vor derselben befindlichen Auge vergrößert und in die deutliche Sehweite nach d hinausrückt. — Da man in dieses Teleskop von der Seite sieht, so würde es große Mühe kosten, dasselbe auf ein entferntes Objekt zu richten. Zu diesem Zwecke ist mit demselben ein kleines Fernrohr, der Sucher, so verbunden, daß die Achse des Fernrohrs der Achse des Teleskopes parallel ist. Hat man nun das Fernrohr auf ein entferntes Objekt so gerichtet, daß dieses in der Achse des Fernrohrs erscheint, so wird dasselbe auch im Teleskope gesehen.

(Fig. 319.)



Das Fernrohr mit einem konkaven Okulare ist ums Jahr 1600 in Holland und etwas später, 1610, von Galilei, welcher von dieser Entdeckung eine Nachricht erhalten hatte, erfunden worden. Derselbe entdeckte mit einem von ihm verfertigten Instrumente, das 33 mal vergrößerte, die Trabanten des Jupiter, den Ring des Saturn und Flecken in der Sonne. Gegen das Jahr 1611 gab Kepler die Konstruktion des astronomischen Fernrohrs, 1663 Gregory in England die Konstruktion eines Spiegelteleskopes an, dessen Einrichtung 1666 durch Newton verbessert wurde, und 1757 verfertigte Dollond in England das erste achromatische Fernrohr. — Der von Merz in München nach Pulkowa gelieferte Refraktor hat ein Objektiv von 38 cm Öffnung und 7 m Brennweite und gewährt eine 2000 malige Vergrößerung; der vor kurzem von Grubb in Dublin nach Wien gelieferte Refraktor hat sogar ein Objektiv von 69 cm Öffnung. Der Spiegel des Teleskops des Lord Rosse hat beinahe 2 m Durchmesser und 18 m Brennweite; dasselbe giebt eine mehr als 6000 malige Vergrößerung.

Da Metallspiegel leicht ihre Politur verlieren, so ist der Gebrauch der Spiegelteleskope ein viel beschränkterer als der der dioptrischen Fernröhre. Man wendet die Spiegelteleskope vorzüglich bei astronomischen Beobachtungen dann an, wenn man eine sehr starke Vergrößerung und eine bedeutende Lichtstärke zu erhalten beabsichtigt.

Die Hauptschwierigkeit, welche sich der Ausführung großer Refraktoren entgegenstellt, besteht darin, für das Objektiv hinreichend große und ganz homogene, von allen Wolken und Streifen freie Glastafeln herzustellen.

Bei kleineren Fernröhren findet man die Zahl der Vergrößerung am einfachsten, indem man die Ziegel eines Daches oder die Rauten eines Fensters mit einem Auge durch das Fernrohr und zugleich mit dem anderen freien Auge beobachtet und zusieht, wie viele gleich große und mit freiem Auge gesehene Abteilungen eine durch das Fernrohr gesehene und vergrößerte Abteilung bedeckt. Noch besser wendet man ein dem oben für Mikroskope angegebenen ähnliches Verfahren an, indem man vor dem Okulare ein unter 45° gegen die Achse des Fernrohrs geneigtes kleines Metallspiegelchen anbringt und als Objekt eine in gleiche Teile geteilte und in angemessener Entfernung aufgestellte Latte anwendet. — Übrigens gilt auch hier das schon oben bei Mikroskopen Gesagte, daß nicht immer das stärker vergrößernde Instrument, sondern dasjenige, durch welches man einen Gegenstand vollständiger und deutlicher sieht, das vorzüglichere ist. Ein sehr einfaches Mittel, um zwei kleinere Fernröhre in Hinsicht ihrer Güte zu vergleichen, besteht darin, daß man untersucht, durch welches von beiden man die nämliche Schrift in größerer Entfernung noch vollkommen deutlich erkennen und lesen kann. Als Prüfungsmittel für größere Fernröhre wählt man gewöhnlich Doppelsterne.

Zehnter Abschnitt.

Von der Wärme.

A. Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

§. 229. **Von der Wärme im allgemeinen.** Von dem Wesen der Wärme wird weiter unten (§. 252) die Rede sein; wir handeln zunächst von den Wirkungen derselben. Die bekanntesten dieser Wirkungen sind die Einwirkung auf unser Gefühl, die Ausdehnung und die Veränderung des Aggregatzustandes der Körper.

Nach der verschiedenen Affektion unseres Gefühls unterscheiden wir warme und kalte Körper. Wie wenig zuverlässig jedoch die auf die Zeugnisse des Gefühls gegründeten Urteile sind, geht schon daraus hervor, daß wir den nämlichen Körper, welchen wir unter gewissen Umständen warm nennen, unter andern Verhältnissen für kalt erklären. Tauchen wir z. B. eine Zeitlang eine Hand in kaltes, die andere in warmes Wasser und hierauf beide Hände in lauwarmes Wasser, so haben wir an der einen Hand das Gefühl von Kälte, an der andern von Wärme. — Übrigens sollen die Benennungen kalt und warm keinen eigentlichen Gegensatz, wie positiv und negativ elektrisch, sondern nur eine Verschiedenheit dem Grade nach, wie hell und dunkel, ausdrücken.

§. 230. **Das Thermometer.** Den Zustand der Wärme eines Körpers nennt man seine Temperatur. Unser Gefühl kann, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, uns keinen sichern Maßstab zur Beurteilung der Temperatur eines Körpers gewähren. Man wendet daher zur Abmessung derselben besondere Instrumente an, welche man Thermometer nennt, und bei denen, wie verschieden auch übrigens ihre Einrichtung sein mag, die ungleiche Ausdehnung zweier

Körper durch die Wärme, z. B. beim Quecksilberthermometer die verschiedene Ausdehnung des Quecksilbers und des Glases, als Maß der Temperatur angenommen wird.

Das Quecksilberthermometer, welches unter allen Thermometern das gebräuchlichste ist, besteht aus einer gläsernen Röhre, welche sich unten (gewöhnlich) in eine Kugel (oder noch zweckmäßiger in ein längliches, cylinderförmiges Gefäß) erweitert. Die Kugel und ein Teil der Röhre sind mit Quecksilber angefüllt, und neben der Röhre ist die in gleiche Teile eingeteilte Skale angebracht, auf welcher das Steigen oder Fallen des Quecksilbers in der Röhre abgemessen wird.

Auf dieser Skale sind zunächst zwei feste Punkte verzeichnet, von denen der eine der Eispunkt, der andere der Siedepunkt genannt wird. Man bestimmt den ersteren, indem man die Kugel des Thermometers und den untern Teil der Röhre, soweit das Quecksilber reicht, in schmelzenden Schnee oder schmelzendes Eis taucht und die Stelle auf der Röhre mit einem feinen Striche bezeichnet, bis zu welcher das Quecksilber in der Röhre reicht. Ebenso findet man den Siedepunkt, indem man das Thermometer in siedendes Wasser oder besser in die Dämpfe von siedendem Wasser (§. 240, Anm.) taucht und ebenfalls die Stelle auf der Röhre verzeichnet, bis zu welcher das Quecksilber steigt. Den Zwischenraum zwischen dem Eis- und Siedepunkte teilt man in hundert gleiche Teile und nennt diese Teile Grade. Ebensolche Teile trägt man auch noch über dem Siedepunkte und unter dem Eispunkte auf.

Diese Einteilung, bei welcher an den Eispunkt Null, an den Siedepunkt 100 geschrieben wird, heißt die Centesimaleinteilung oder die Einteilung nach Celsius, weil dieselbe von dem Schweden Celsius eingeführt worden ist. Alle Temperaturangaben in diesem Buche beziehen sich auf diese Einteilung. Weniger zweckmäßig ist die bei uns im gewöhnlichen Leben noch sehr gebräuchliche Einteilung nach dem Franzosen Réaumur, bei welcher an den Eispunkt ebenfalls Null, aber an den Siedepunkt 80 zu stehen kommt, desgleichen die vorzüglich in England verbreitete Einteilung nach Fahrenheit, welcher an den Eispunkt die Zahl 32 und an den Siedepunkt 212 schreibt, also den Zwischenraum in 180 gleiche Teile teilt. Bei sämtlichen Einteilungen werden die Grade über Null mit plus (+), die Grade unter Null mit minus (—) bezeichnet.

Die Grade der einen Einteilung können leicht in die der anderen umgewandelt werden, da 4^0 R. = 5^0 C. = 9^0 F. sind, wobei man jedoch nicht außer acht zu lassen hat, daß Fahrenheit an den Eispunkt nicht Null, sondern 32 schreibt.*)

Durch das Thermometer werden wir in den Stand gesetzt, die Temperaturen zweier Körper oder des nämlichen Körpers für verschiedene Zeiten zu vergleichen. Ob aber das Steigen oder Fallen des Quecksilbers in der Röhre wirklich dem wahren Gange der Wärme proportional erfolgt, ob z. B. für eine Temperaturerhöhung von 20^0 eine doppelt so große Wärmemenge erforderlich ist als für eine

*) Es sind folglich n^0 nach C. = $\frac{4}{5}n^0$ nach R. = $\frac{9}{5}n^0 + 32^0$ nach F.
n^0 nach R. = $\frac{5}{4}n^0$ nach C. = $\frac{9}{4}n^0 + 32^0$ nach F.
n^0 nach F. = $\frac{5}{9}(n - 32)^0$ nach C. = $\frac{4}{9}(n - 32)^0$ nach R.

Temperaturerhöhung von 10°, ist eine Frage, auf deren Beantwortung wir weiter unten zurückkommen werden. Selbst wenn diese Frage nicht unbedingt zu bejahen sein sollte, so würde das Thermometer doch eine der wichtigsten und nützlichsten physikalischen Gerätschaften bleiben, vorausgesetzt, daß richtig konstruierte Thermometer auch allemal, wenn sie den nämlichen Bedingungen unterworfen werden, denselben Temperaturgrad anzeigen. — Damit dieses der Fall sei, sind bei der Anfertigung des Thermometers noch folgende Regeln zu beobachten:

1) Die Röhre muß überall gleiches Kaliber, gleiche Weite, haben. Man untersucht dieses, indem man in die Röhre einen Tropfen Quecksilber bringt, welcher in derselben die Form eines kleinen Cylinders annimmt. Man überzeugt sich dann durch genaue Messungen, ob das Quecksilbersäulchen, wenn man es durch allmähliches Neigen in der Röhre von einem Ende nach dem andern gleiten läßt, beständig dieselbe Länge hat. Ist diese Länge für verschiedene Stellen in der Röhre merklich verschieden, so ist die Röhre überhaupt als unbrauchbar zu verwerfen.

2) Von den beiden festen Punkten bietet die Bestimmung des Eispunktes keine Schwierigkeit dar. Wir erinnern nur noch, daß man denselben nicht im frierenden Wasser, sondern im schmelzenden Schnee oder Eise feststellt, weil Wasser, wie wir weiter unten noch ausführlicher zeigen werden, mehrere Grade unter Null abgekühlt werden kann, ohne zu frieren, während dagegen die Temperatur des schmelzenden Eises eine feste ist. Jedesmal, wenn man das Thermometer in schmelzenden Schnee oder Eis taucht, sinkt das Quecksilber wieder an die nämliche Stelle. — Das ist jedoch bei dem Siedepunkte nicht unbedingt der Fall, indem derselbe auch von dem Luftdrucke abhängt. Das Wasser siedet nämlich bei stärkerem Luftdrucke bei einer höheren Temperatur als bei schwächerem Luftdrucke. Der Siedepunkt kommt folglich bei einem hohen Barometerstande höher als bei niedrigem Barometerstande zu liegen. Will man daher vergleichbare Thermometer herstellen, so muß der Siedepunkt bei dem nämlichen Barometerstande bestimmt sein, als welchen man gewöhnlich 76 cm annimmt.*)

Gewöhnlich macht man die Thermometer luftleer, indem man durch Erwärmung das Quecksilber bis in die Spitze treibt und diese dann rasch zuschmilzt. Ohne dies würde man Gefahr laufen, daß beim Steigen des Quecksilbers in der Röhre durch den Gegendruck der komprimierten Luft das sehr dünne Glas der Kugel zersprengt werden würde. Auch wird ein Thermometer unrichtig, wenn bei einer Erschütterung Luft zwischen das Quecksilber kommt. — Besonders bei den luftleeren Thermometern geschieht es häufig, daß der Nullpunkt mit der Zeit etwas in die Höhe rückt. Man schreibt dieses dem Umstande zu, daß das sehr dünne Glas der Kugel durch den äußeren Luftdruck etwas zusammengepreßt wird. Man pflegt daher die mit dem Quecksilber gefüllte Röhre, nachdem man dieselbe luftleer gemacht und zugeschmolzen hat, einige Monate liegen zu lassen, ehe man den Eispunkt bestimmt. Überhaupt thut man wohl, an einem Thermometer von Zeit zu Zeit die beiden Normalpunkte zu kontrollieren.

Das Thermometer soll ums Jahr 1605 von Cornelius Drebbel in Holland erfunden worden sein. Drebbels Thermometer war jedoch von unseren gegenwärtigen Thermometern noch sehr verschieden. Es bestand nämlich aus einer im oberen Teile mit Luft, im unteren Teile mit einer

*) Wenn das Barometer 27 mm höher oder tiefer als 760 mm steht, so kommt der Siedepunkt ungefähr 1° höher oder niedriger als bei dem normalen Barometerstande zu liegen.

bedürfen eigentlich noch einer Korrektion wegen der Ausdehnung des Glases; diese Korrektion ist jedoch sehr klein, da die Ausdehnung des Glases, verglichen mit der der Luft, nur unbedeutend ist.

Die soeben beschriebene und in Figur 321 abgebildete Vorrichtung kann den Namen eines Luftthermometers erhalten; dasselbe hat jedoch die Unbequemlichkeit, daß seine Angaben einer vom Barometerstande abhängenden Korrektion bedürfen, indem der Stand des Quecksilbersäulchens in der Röhre nicht bloß durch die Temperatur der eingeschlossenen Luft, sondern auch durch die Größe des Druckes der äußeren Luft bestimmt wird.

Wie wir gesehen haben, dehnen sich alle Gase, solange sie von dem Übergange in den flüssigen Zustand sehr entfernt sind, für gleiche Temperaturzuwachse (fast) gleich stark aus. Dies hat zu der Annahme geführt, daß die Ausdehnung der Gase dem wahren Gange der Wärme proportional erfolge. (Vgl. auch unten §. 253.) Demzufolge sieht man das Luftthermometer als das eigentliche Normalthermometer an und läßt die Angaben aller anderen Thermometer nur insoweit als richtig gelten, als sie mit dem Luftthermometer übereinstimmen.

Vergleicht man zunächst das Quecksilberthermometer mit dem Luftthermometer, so findet man, daß diese Übereinstimmung für Temperaturen zwischen dem Eis- und Siedepunkte und auch noch einige (etwa 20) Grad jenseits dieser Punkte fast vollkommen vorhanden ist.

Füllt man Thermometer mit anderen Flüssigkeiten als Quecksilber, so stimmen dieselben im allgemeinen weder unter sich noch mit dem Luftthermometer überein. Dies ist der Grund, warum man dem Quecksilber vor allen anderen Flüssigkeiten zur Füllung der Thermometer den Vorzug giebt. Für hohe Kältegrade jedoch wird das Quecksilberthermometer unbrauchbar, da die Ausdehnungen des Quecksilbers in der Nähe seines Schmelzpunktes (— 39°) unregelmäßig werden. Man bedient sich für dergleichen niedrige Temperaturen des Weingeistthermometers, indem wasserfreier Weingeist, absoluter Alkohol, erst bei einer sehr tiefen, nur künstlich zu erzeugenden Temperatur (— 131°) erstarrt (s. unten §. 241, Anm.). Für die höchsten Grade künstlicher Kälte benutzt man Luft- oder Wasserstoffthermometer.

Ebenso weicht für Temperaturen, welche den Siedepunkt erheblich übersteigen, das Quecksilberthermometer vom Luftthermometer ab; man muß daher bei genauen Beobachtungen hoher Temperaturen sich des Luftthermometers bedienen.

Das soeben erwähnte Verfahren, Thermometer mit verschiedenen Flüssigkeiten zu füllen und den Gang derselben mit dem Luft- oder Quecksilberthermometer zu vergleichen, kann auch dazu dienen, wenn man das Verhältnis zwischen dem Raumesinhalte der Kugel und der Röhre kennt, die absolute Größe der Ausdehnung der angewendeten Flüssigkeiten innerhalb bestimmter Temperaturen zu ermitteln, wenn man zugleich auf die Ausdehnung des Glases die nötige Rücksicht nimmt.

Bei den festen Körpern unterscheidet man die lineare und die kubische Ausdehnung. Die erstere zeigt an, um wieviel sich die Länge oder eine andere Dimension, die letztere, um wieviel sich das Volumen (der Kubikinhalt) eines Körpers

vergrößert hat. Man findet die lineare Ausdehnung, aus welcher sich dann auch die kubische leicht berechnen läßt, indem man einen Stab aus der zu untersuchenden Substanz in einem Wasser- oder Ölbade auf verschiedene Temperaturen erwärmt und die Länge, welche derselbe hierbei annimmt, mit großer Genauigkeit abmißt. Man hat auf diese Art gefunden, daß die Ausdehnung für verschiedene feste Körper zwar ungleich ist, daß die meisten sich jedoch zwischen 0° und 100° nahezu gleichförmig und zwar nach demselben Verhältnis wie die luftförmigen Körper, für höhere Temperaturen aber nach zunehmenden Verhältnissen ausdehnen.

Körper, welche in ihren Poren Feuchtigkeit enthalten, wie feuchter Thon, Holz, Papier u. dgl. m., ziehen sich beim Erwärmen zusammen, indem das in ihren Poren enthaltene Wasser ausgetrieben wird. Vollkommen trockenes Holz, Papier u. dgl. folgen jedoch dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung beim Erwärmen.

Man pflegt die verhältnismäßige Größe, um welche ein fester Körper seine Länge bei einer Erwärmung von 1° vergrößert, den (linearen) Ausdehnungskoeffizienten desselben zu nennen. Die (mittleren) Werte für die Ausdehnungskoeffizienten verschiedener fester Körper sind folgende:

Blei	0,000029	Messing	0,000019
Eisen	0,000012	Platin	0,000009
Glas	0,000009	Silber	0,000019
Gold	0,000015	Zink	0,000029
Kupfer	0,000017	Zinn	0,000023

Bezeichnet X die kubische, x die lineare Ausdehnung, so ist

$$1 + X = (1 + x)^3,$$

wofür wir, da x eine sehr kleine Zahl bedeutet, (nach §. 188, b [225, b] der Arithmetik) ohne erheblichen Fehler setzen können

$$1 + X = 1 + 3x, \text{ also } X = 3x,$$

d. h. die kubische Ausdehnung ist dem Dreifachen der linearen Ausdehnung gleich.

Krystallisierte Körper, wie Kalkspat, Gips u. dgl., welche nicht zum regulären Krystallsystem gehören, erleiden nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche Ausdehnung.

Ein eigentümlich abweichendes Verhalten zeigt Kautschuk, indem es beim Erwärmen sich zusammenzieht, und sich erwärmt, wenn es ausgedehnt wird, während Metalldrähte beim Ziehen erkalten. Ein ähnliches Verhalten wie beim Kautschuk ist auch bei der Guttapercha beobachtet worden.

Auf der ungleichen Ausdehnung der Metalle durch die Wärme beruhen unter anderm das Kompensationspendel, von welchem schon oben (§. 40, c) die Rede gewesen ist, und das Metallthermometer. Dieses besteht im wesentlichen aus einem gekrümmten oder spiralförmig gewundenen Streifen, welcher aus zwei zusammengelöteten Metallen, die eine sehr ungleiche Ausdehnung haben, wie z. B. Eisen und Messing oder Silber und Platin, zusammengesetzt ist. Bei einer jeden Temperaturveränderung erleiden die zusammengelöteten Metalle eine ungleiche Verlängerung oder Verkürzung; es muß daher auch die Krümmung des Streifens zu- oder abnehmen, wodurch ein mit demselben verbundener Zeiger, welcher über einem Bogen spielt, auf dem die Grade verzeichnet sind, in Bewegung gesetzt wird. Die Graduierung dieser Instrumente geschieht nach einem richtigen Quecksilberthermometer.

Nach den Untersuchungen von Regnault beträgt bei einer Erwärmung von 0° bis 100° und mittlerem Drucke die Ausdehnung für

Wasserstoffgas	0,3661	Stickstoffoxydulgas	0,3719
Atmosphärische Luft	0,3665	Cyangas	0,3877
Kohlensäure	0,3710	Schwefelige Säure	0,3903

Die Ausdehnung eines Gases ist hiernach zwischen den angegebenen Grenzen um so beträchtlicher, je eher dasselbe bei verminderter Temperatur und vergrößertem Drucke in den flüssigen Zustand übergeht. (Vergleiche unten §. 239.)

§. 232. Abweichendes Verhalten des Wassers zwischen 0° und + 4°. Während fast alle Körper bei der Erwärmung sich ausdehnen, zeigt das Wasser in der Nähe des Eispunktes eine höchst merkwürdige Abweichung von diesem Gesetze, indem es sich beim Erwärmen von 0° bis 4° nicht ausdehnt, sondern zusammenzieht, bei 4° (ungefähr) seine größte Dichtigkeit erreicht, über 4° erwärmt aber sich wieder ausdehnt, bei 8° nahe denselben Raum einnimmt, also auch die nämliche Dichtigkeit hat wie bei 0° und dann weiter, von 8° bis 100° erwärmt, dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung der Körper durch die Wärme gemäß fortfährt sich auszudehnen. Ebenso zieht Wasser, welches von 100° bis 4° abgekühlt wird, sich der allgemeinen Regel folgend zusammen, dehnt sich aber gegen dieselbe wieder aus, wenn es weiter von 4° bis 0° erkaltet.

Während das Wasser bei der Abkühlung von 4° bis 0° sich allmählich etwas ausdehnt (ungefähr um $^1/_{80}$ Prozent), vergrößert das bis auf 0° erkaltete Wasser bei dem Übergange in den festen Zustand sein Volumen auf einmal um eine noch weit beträchtlichere Größe (9 Prozent ungefähr).

Daß das Wasser bei dem Erstarren zu Eis sich beträchtlich ausdehnt, zeigt eine Menge bekannter Erfahrungen, welche hierin zugleich ihre Erklärung finden. Eis schwimmt auf dem Wasser, (während festes Blei in geschmolzenem zu Boden sinkt); mit Wasser gefüllte, verschlossene Gefäße werden beim Frieren desselben zerrissen; selbst starke eiserne Bomben, in denen Wasser fror, wurden zersprengt; ebenso werden Felsen, in deren Spalten Wasser eingedrungen ist, beim Frieren desselben auseinandergerissen, worin eine der ersten Ursachen, der, wenn auch allmählich, doch beständig fortschreitenden Zertrümmerung und Verwitterung der Felsengebirge besteht. Das Straßenpflaster, Thürschwellen u. dgl. werden durch den Frost gehoben, Wasserleitungen, Mauern, Bäume u. a. m. zerrissen. — Andererseits wirkt der Frost sehr nützlich zur Auflockerung des festeren, lehmigen Erdreichs; daher die große Erweichung lehmigen Bodens selbst bei trockener Witterung, wenn derselbe, in der Nacht gefroren, am Tage durch die Sonnenstrahlen auftaut.

Einen nicht minder großen Nutzen gewährt das auf den ersten Blick vielleicht unerheblich erscheinende, eigentümliche Verhalten des Wassers bei dem Übergange in den festen Zustand dadurch, daß es die Eisbildung wesentlich beschränkt. Wenn nämlich mit dem Herannahen des Winters die Lufttemperatur immer mehr sinkt, so kühlt sich auch das Wasser in Seen und Teichen und zwar zunächst an der Oberfläche ab. Indem das bis auf 4° abgekühlte Wasser vermöge seines größeren specifischen Gewichtes sich zu Boden senkt, das weiterhin bis auf 0° erkaltete leichtere Wasser an der Oberfläche schwimmt, bildet sich das Eis nicht zuerst am Boden, sondern an der Oberfläche des Wassers. Da nun das Eis so wie das Wasser ein schlechter Leiter der Wärme ist, so gewähren die entstandene Eisdecke und die obersten Wasserschichten einen Schutz gegen das weitere Eindringen des Frostes in die tieferen Schichten, in denen die im Wasser lebenden Tiere noch eine Temperatur von 4° Wärme antreffen. — Ohne die Ausdehnung des Wassers bei dem Erkalten von 4° bis 0° und bei dem Erstarren zu Eis würden selbst tiefere Gewässer bei längere Zeit

ndauerndem Frostwetter bis auf den Grund zufrieren und so viele Gegenden der rde eines der wichtigsten Nahrungsmittel, der Fische, fast ganz verlustig gehen.

Anders als in den stehenden Gewässern gestalten sich die Verhältnisse in Flüssen, denen durch die Strömung eine Mischung der gesamten Wassermasse und so eine leichförmigere Erkaltung von der Oberfläche bis zum Boden herbeigeführt wird. a die Krystallisation immer an festen Punkten zuerst beginnt, so bilden sich die sten Eiskrystalle an den Ufern oder an Felsen, Pfählen u. dgl., besonders aber auf em Boden der Flüsse, wo überdies die schwächere Strömung die Krystallbildung egünstigt. Indem die am Boden des Flusses entstandenen Eiskrystalle sich immer ehr vergrößern, werden sie auch immer stärker von dem Wasser gehoben, bis sie ndlich losgerissen und nach der Oberfläche getrieben werden. Man sagt dann, der trom treibe **Grundeis**. Mit der Vermehrung desselben wird die Bewegung des tromes an der Oberfläche immer mehr gehemmt, die Eismasse kommt endlich zum tehen und bildet über den Fluß eine gegen das weitere Eindringen des Frostes hützende Decke. Die Bildung der festen Eisdecke wird aber noch beschleunigt durch ne andere ebenfalls sehr merkwürdige Eigentümlichkeit des Eises, daß nämlich Stücke sselben von 0° im Wasser von gleicher und selbst höherer Temperatur bei der erührung **zusammenfrieren**. Auf diese Art geschieht es häufig, daß der Fluß, f welchem heute noch Treibeis schwimmt, schon morgen mit einer festen Decke kleidet ist, welche Menschen den sichern Übergang gestattet.

Die soeben angegebene, bis jetzt bei keiner anderen Substanz beobachtete Eigenschaft des Eises, für lche noch die genügende Erklärung fehlt, wird mit dem Namen **Regelation** bezeichnet.

Wenn man Wasser durch längeres Auskochen möglichst luftleer macht und dann gegen jede rschütterung schützt, so kann dasselbe bis zu 10 und mehr Grad unter den Eispunkt abgekühlt erden, ohne zu erstarren.*) Auch bei dieser Abkühlung unter 0° zieht sich das Wasser nicht sammen, sondern fährt fort so wie bei der Abkühlung von 4° bis 0° und zwar in noch stärkerem erhältnisse sich auszudehnen.

Eis zieht sich, der allgemeinen Regel folgend, bei der Abkühlung unter 0° zusammen, und hnt sich, wenn es von Temperaturen unter Null bis 0° erwärmt wird, wieder aus. Der lineare usdehnungskoeffizient des Eises ist = 0,000053, also größer als bei allen bekannten festen Körpern.

Das Meerwasser, welches ungefähr bei — 2° friert, hat oberhalb dieser Temperatur kein Maximum r Dichte. In Gefäße eingeschlossenes Meerwasser läßt sich beträchtlich unter seinen Gefrierpunkt kühlen und erlangt dann zwischen —3° und —4° seine größte Dichte. Ein ähnliches Verhalten igen überhaupt Salzlösungen.

So wie Wasser dehnen sich auch einige andere Substanzen, z. B. geschmolzenes Wismut und schmolzener Salpeter, beim Erstarren aus.

§. 233. Luftzug in Schornsteinen und geheizten Zimmern. Wie wir vorhergehenden §. gesehen haben, vergrößert die Luft bei der Erwärmung, (wenn r Druck derselbe bleibt), für jeden Grad ihr Volumen um den 300. (genauer 273.) eil. Diese so beträchtliche Ausdehnung ist die gewöhnliche Ursache sowohl der auf nen engeren Raum beschränkten Strömungen, welche wir als Luftzug, als auch der ößeren atmosphärischen Strömungen, welche wir als Winde bezeichnen. Als das

*) Man macht den Versuch zweckmäßig auf die Art, daß man zwei Probiergläschen, von denen s eine lufthaltiges Wasser, das andere zugekorkte sorgfältig ausgekochtes Wasser enthält, zugleich eine Kältemischung stellt.

einfachste und am leichtesten genauer zu erörternde Beispiel heben wir zunäch Zug der Luft in den geheizten Schornsteinen oder Ofenpfeifen Es sei A (Fig. 322) das obere, B das untere Ende eines senkrecht stehenden S steines, in welchem die Luft durch ein unter demselben angebrachtes Feuer zu


(Fig. 322.)

höheren Temperatur als die äußere Luft erwärmt wird. Infol Erwärmung dehnt sich zunächst die in dem unteren Teile des S steins befindliche Luft aus und hebt die über ihr lagernde Luftm die Höhe; dadurch entsteht aber ein Druck nach aufwärts, welch bis zur oberen Öffnung bei A fortpflanzt und Luft aus dem S austreibt, sodaß das Gewicht der inneren Luftsäule mit zuneh Erwärmung sich verringert.

Es sei nun a der bei A stattfindende äußere Luftdruck, (die einer dem äußeren Luftdrucke das Gleichgewicht haltenden Queck säule), d das Gewicht der äußeren kalten Luftsäule AB, (die Länge gleich schweren Quecksilbersäule), und d′ das Gewicht der im Schor enthaltenen erwärmten Luftsäule; dann ist a + d der Druck, welch äußere Luft, a + d′ aber der Druck, welchen die in dem Schornstein enthalten bei B ausübt; demnach übertrifft der äußere Druck den inneren um d — d′. einer dieser Differenz entsprechenden Kraft wird unten bei B die äußere kalt in den Schornstein hineingetrieben.

Mit derselben Kraft strebt aber auch die Luft oben bei A auszuströmen. da der sich nach innen fortpflanzende Druck der äußeren Luft, welcher bei B a + d ist, durch das Gewicht d′ der im Schornsteine enthaltenen Luftsäule verm wird, so ist der Druck, mit welchem die Luft im Schornsteine oben bei A Höhe getrieben wird, gleich a + d — d′; derselbe übertrifft daher den äußeren druck bei A ebenfalls um die Größe d — d′.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die kalte Luft unten in den Schornstein ein- und die warme Luft oben bei A aus demselben ausströmt, wird also be durch die Größe d — d′, d. h. durch die Differenz zwischen dem Gewich äußeren kalten und der inneren warmen Luftsäule; der Unterschied Gewichte ist aber um so größer, also der Zug um so stärker, je meh Temperatur der Luft im Schornsteine die der äußeren Luft übertrifft je größer die senkrechte Höhe des Schornsteines ist, d. h. je höher der P über B liegt, Sätze, welche durch die tägliche Erfahrung vollkommen bestätigt w

Es erklärt sich hieraus auch, warum der nämliche Ofen stärker bei kalt bei milder Witterung, besser bei lebhaftem als bei schwachem Feuer zieht u. s

Sollte ein Schornstein irgendwo mit einer Seitenöffnung versehen sein, welche die Luft in hinreichender Menge abfließen könnte, so würde die Stär Zuges nicht mehr durch die Höhe des Schornsteines überhaupt, sondern nur die senkrechte Höhe dieser Öffnung über dem Feuerraume bestimmt werden.*)

*) Auch wenn sich unterhalb der Stelle, an welcher die Ofenröhre in den Schornstein eine Öffnung in demselben befindet, so wird die Zugkraft geschwächt, indem dann nicht bloß Luft durch die Ofenröhre, sondern auch kalte durch die Öffnung in den Schornstein einströmt.

Ganz auf den nämlichen Gründen, welche wir soeben für den Zug in den Schornsteinen entwickelt haben, beruht auch der besonders zur Winterzeit lebhafte Zug an den Fugen nicht dicht schließender Thüren und Fenster, durch welchen ein beständiger Wechsel der Luft im Zimmer herbeigeführt und die durch das Atmen und durch Ausdünstungen verdorbene innere Luft durch reine Luft von außen erneuert wird. Nehmen wir an, AB (Fig. 322) stelle nicht mehr einen geheizten Schornstein, sondern ein erwärmtes Zimmer, A eine nahe an der Decke, B eine nahe am Boden befindliche Öffnung vor, so übertrifft, wie wir eben gezeigt haben, oben bei A der innere Luftdruck den äußeren, weshalb hier die wärmere Luft des Zimmers nach außen strömt, während unten bei B der äußere Luftdruck den inneren übertrifft und daher kältere Luft einwärts strömt. Zwischen A und B muß es offenbar eine Stelle geben, wo der äußere und innere Luftdruck gleiche Größe haben und folglich durch eine an dieser Stelle angebrachte Öffnung gar keine Strömung, weder nach außen noch nach innen, stattfinden würde.

Von der Übereinstimmung dieser theoretischen Betrachtungen mit der Erfahrung kann man sich leicht dadurch überzeugen, daß man zur Winterzeit längs der Kante einer nicht dicht schließenden Thüre eines geheizten Zimmers eine Lichtflamme langsam auf- und niederführt; diese wird oben am stärksten nach außen, unten am stärksten nach innen abgelenkt; die eine wie die andere Ablenkung nimmt mit der Entfernung vom oberen und unteren Rande immer mehr ab; ungefähr in der Mitte giebt es eine Stelle, an welcher gar keine Ablenkung der Lichtflamme, also auch kein Zug stattfindet.

Obschon die Stärke des Zuges im allgemeinen mit der Höhe des Schornsteines wächst, so hat dieses doch in dem Umstande eine gewisse Grenze, daß die Luft sich um so mehr abkühlt, je höher der Schornstein ist, und daß mit der Länge des Schornsteines auch die Reibung der Luft an den Seitenwänden desselben zunimmt. Auch die Weite des Schornsteines ist nicht ohne Einfluß auf den Zug; ist derselbe zu eng, so wird für die Unterhaltung eines größeren Feuers nicht genug Luft in Bewegung gesetzt; ist aber das Feuer klein und schwach und der Schornstein zu weit, so wird die große Luftmasse in demselben nur schwach erwärmt und also nur ein schwacher Zug entstehen können. Da die Wärme der Luft im Schornsteine von unten nach oben abnimmt und die kältere Luft einen kleineren Raum einnimmt als die wärmere, so läßt man zweckmäßig die Schornsteine nach oben hin etwas schmäler zulaufen.

So wie wir gesehen haben, daß in einem Kanale, dessen Temperatur die der äußeren Luft übertrifft, ein Strömen der eingeschlossenen wärmeren Luft von unten nach oben stattfinden muß, so wird umgekehrt in einem Kanale, in dessen Innerem eine niedrigere Temperatur als außerhalb herrscht, sich die Luft in entgegengesetzter Richtung, also von oben nach unten bewegen müssen. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß aus Spalten und Höhlen an den Abhängen der Hochalpen, welche durch Höhlen und Klüfte mit den höher gelegenen, beständig mit Eis und Schnee bedeckten Teilen des Gebirges in Verbindung stehen, während des Sommers eine kalte Luft ausströmt, deren Temperatur bis auf 5°—8° herabgeht, während die Luft im Freien eine Temperatur von 15°—18° zeigt. Die Eingeborenen benutzen diesen Umstand, um in jenen Höhlen Milch, Fleisch und andere Speisen längere Zeit aufzubewahren.

§. 234. Von den herrschenden Winden. Durch die ungleiche Erwärmung der Luft werden auch, wie schon im vorhergehenden §. erwähnt, die größeren Strömungen in derselben, die Winde, hervorgebracht. — Ein besonders deutliches Beispiel bieten zunächst die Land- und Seewinde dar, welche an den Küsten des Meeres, auch wohl größerer Seen, in regelmäßigem Wechsel am Tage von der See

her, des Nachts von dem Lande her wehen. Im allgemeinen sind diese Winde nur schwach; sie zeigen sich am deutlichsten in der heißen Zone, jedoch auch hier nur dann, wenn kein anderer stärkerer Wind vorherrscht. Sie erstrecken sich nicht tief landeinwärts, sondern sind auf die Küsten beschränkt und werden auch auf der See in größerer Entfernung von der Küste nicht wahrgenommen. — Der von der See nach dem Lande wehende Wind beginnt in der Regel einige Stunden nach Sonnenaufgang, erreicht gegen zwei bis drei Uhr nachmittags seine größte Stärke und hört mit Sonnenuntergang wieder auf. Der vom Lande nach der See wehende Wind beginnt etwa gegen Mitternacht, weht am lebhaftesten gegen Sonnenaufgang und hört, wenn die Sonne eine gewisse Höhe erreicht hat, wieder auf. Beide, Land- und Seewind, sind durch Windstille voneinander getrennt.

Die Erklärung dieser Winde ergiebt sich sehr leicht aus den Ungleichheiten der Temperaturen des Landes und des Wassers und der über denselben lagernden Luftschichten am Tage und während der Nacht. Am Tage wird nämlich das feste Land stärker als das Wasser durch die Sonnenstrahlen erwärmt. Infolge hiervon erlangt auch die über dem Lande ruhende Luftsäule eine höhere Temperatur als die Luft über dem Wasser; es muß daher aus denselben Gründen, welche wir oben in Hinsicht der nicht dicht schließenden Thüre eines geheizten Zimmers entwickelt haben, oben die wärmere Luft über dem Lande nach der See zu abfließen, unten aber die kältere Luft von der See her in die wärmere über dem Lande eindringen. Während der Nacht kühlen sich sowohl das feste Land als auch das Wasser durch Strahlung (s. §. 249) ab; indem aber die obersten abgekühlten Wasserschichten vermöge ihres größeren specifischen Gewichtes sich senken und durch emporsteigende wärmere ersetzt werden, erkaltet die Oberfläche des Wassers weniger stark als die des festen Landes. Es müssen daher während der Nacht die entgegengesetzten Strömungen von denen am Tage eintreten.

Zu den regelmäßigen Winden gehören ferner die Monsune, welche während des Sommers mehrenteils von der See nach dem Lande, während des Winters in der entgegengesetzten Richtung wehen. Dieselben sind besonders ausgezeichnet in dem indischen Meere und entstehen durch die ungleichen Wärmeverhältnisse des Meeres und des asiatischen Kontinents während der Sommer- und Wintermonate in ganz ähnlicher Art, wie wir dies für die abwechselnd am Tage und während der Nacht wehenden Land- und Seewinde gezeigt haben.

Das Verhältnis ungleicher Temperatur, welches in den angeführten Beispielen während des Tages und der Nacht, des Sommers und des Winters wechselt, findet durch das ganze Jahr zwischen den Gegenden in der Nähe des Äquators und denjenigen höherer Breiten statt und muß folglich eine fortwährende zwiefache Strömung in der Luft herbeiführen. Es muß nämlich aus den im vorhergehenden entwickelten Gründen in den oberen Regionen beständig die wärmere Luft von dem Äquator nach den Polen zu fließen, unten aber die kältere Luft aus höheren Breiten nach dem Äquator hinströmen.

Infolge der Kugelgestalt der Erde gelangt nun die Luft in den oberen Regionen auf ihrem Wege vom Äquator nach den höheren Breiten in einen immer

kleineren Raum; sie muß sich daher in einer gewissen Breite, da sie der Schwere unterworfen bleibt, aufstauen und niedersenken. Dies geschieht zu beiden Seiten des Äquators über den Zonen zwischen dem 30. und 40. Breitengrade (ungefähr). Dementsprechend zeigt die mittlere Luftdruckverteilung an der Oberfläche der Erde zwei Maxima des Luftdrucks über jenen Zonen (von etwa 765 mm), eine allmähliche Abnahme desselben von diesen Zonen aus nach beiden Seiten und ein Minimum am Äquator (von 760 mm). Die Luft in den Tropen beschreibt daher einen vollständigen Kreislauf zwischen dem Äquator und dem 30. Breitengrade: — Sie steigt am Äquator empor, fließt oben nach den Polen zu, senkt sich beim 30. Breitengrade wieder und kehrt von dort zum Äquator zurück.

Demnach würden wir in der heißen Zone auf der Nordseite des Äquators inen beständigen Nordwind, auf der Südseite einen Südwind erwarten. Hiervon ringt jedoch die Achsendrehung der Erde eine bedeutende Abweichung hervor. In §. 40, d haben wir gesehen, daß sich die Schwingungsebene eines Pendels, welche in Wirklichkeit infolge der Trägheit des Pendels ihre Lage im Raume unverändert beibehält, wegen der Achsendrehung der Erde in demselben Sinne zu rehen scheint, wie aus dem entsprechenden Grunde die Sonne im Laufe des Tages, daß diese Drehung in einer Stunde an den Polen 15°, in unseren Breiten etwa 12° beträgt und am Äquator gleich Null ist. Ganz ebenso wird ein Luftteilchen, welches nach einer bestimmten Himmelsgegend (z. B. nach der aufgehenden Sonne) hin in Bewegung gesetzt worden ist, scheinbar eine Ablenkung aus dieser Richtung erfahren, welche der scheinbaren Bewegung der Sonne entspricht, auf der nördlichen Halbkugel, also von der Himmelsgegend, nach welcher es ursprünglich gerichtet war, immermehr nach rechts abweichen, auf der südlichen Halbkugel dagegen immermehr nach links. Diese Abweichung tritt am stärksten an den Polen auf, nimmt nach dem Äquator hin allmählich ab und verschwindet am Äquator selbst. Es müssen daher auch die beständigen Strömungen der kälteren Luft aus höheren Breiten nach dem Äquator hin bei ihrem Fortschreiten mehr und mehr nach Westen hin abgelenkt werden, also immer mehr eine östliche Richtung annehmen, je weiter sie aus höheren Breiten in niedere vordringen.

Die beiden Ströme der Luft in den unteren Regionen an der Erdoberfläche zeigen sich vollkommen deutlich in den zu beiden Seiten des Äquators in der heißen Zone das ganze Jahr hindurch in nord- und südöstlicher Richtung wehenden Passatwinden, welche in dem vorher Gesagten ihre vollständige Erklärung finden.

Beide Passate sind durch einen Gürtel von etwa 6° (mittlere) Breite getrennt, in welchem Windstillen oder nur schwache, veränderliche Winde herrschen. In dieser Zone der sogenannten Windstillen oder Kalmen, in welcher die Luft durch die Sonnenstrahlen am stärksten erwärmt wird, hat der aufwärts gehende Luftstrom die größte Lebhaftigkeit, wodurch die Richtung der horizontalen Strömung gestört oder aufgehoben wird.

Die am Äquator emporgestiegene wärmere Luft muß nach dem Vorhergehenden in den oberen Regionen in einer den Passatwinden entgegengesetzten Richtung abfließen, also dem unteren nordöstlichen Passate in den oberen Regionen ein Südwestwind,

dem südöstlichen Passate ein Nordwind entsprechen. Erfahrungen, welche sich für das Vorhandensein dieser oberen westlichen Ströme anführen lassen, sind folgende:

Auf der Spitze des Piks von Teneriffa (3700 m) trifft man gewöhnlich westliche Winde an, während auf dem Meere in der Nähe der Insel der Nordostpassat der herrschende Wind ist. Man kennt Beispiele, daß in Gegenden, in denen unausgesetzt der östliche Passat weht, von Vulkanen ausgeworfene Asche (1811 von dem Vulkan Morne Garon auf der Insel St. Vincent und 1835 von dem Vulkan Coseguina auf der Landenge von Mittelamerika) an östlich gelegenen, selbst mehr als 100 Meilen entfernten Orten, wohin dieselbe nur durch die obere westliche Strömung geführt sein konnte, niedergefallen ist.

Halley hat zuerst (1686) auf die ungleiche Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen als die Ursache der Passatwinde hingewiesen; die vollständige zugleich auf die Achsendrehung der Erde begründete Erklärung ist jedoch erst später (1735) von Hadley gegeben worden.

Der Kalmengürtel und die Passatwinde zeigen sich in ihrer vollen Beständigkeit nur auf großen Meeren; im Innern des Landes und selbst in der Nähe der Küsten wird ihre Regelmäßigkeit durch andere Luftströmungen gestört. Nur in ganz flachen Gegenden, z. B. in den Ebenen Südamerikas, in dem sich von Osten nach Westen erstreckenden Flußbette des Amazonenstromes, dringt der Ostpassat bis tief in das Land hinein. Auf dem atlantischen und stillen Ozean fällt das Gebiet der Kalmen im allgemeinen auf die Nordseite des Äquators; von den Passatwinden erstreckt sich der nordöstliche bis auf ungefähr 30° nach Norden, der südöstliche aber, welcher nach Norden mehrfach über den Äquator hinübergreift, nur ungefähr bis zum 25. Breitengrade nach Süden. Diese nördliche Verschiebung der Kalmen, wie der Passate findet in der größeren Ländermasse der nördlichen Erdhälfte und der stärkeren Erwärmung derselben durch die Sonnenstrahlen ihre Erklärung. Die angegebenen Grenzen sind ferner nach dem wechselnden Stande der Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten einigen Schwankungen unterworfen. — In dem nördlichen indischen Ozean wird der Nordost-Passat durch die dort herrschenden Monsune wesentlich gestört. In unserem Sommer verdrängt ihn der von der See herwehende Monsun, welcher durch den Einfluß der Achsendrehung der Erde eine südwestliche Richtung erhält, vollständig, während er im Winter durch den vom Lande kommenden Nordost-Monsun bedeutend verstärkt wird.

Bei den geringen Temperaturänderungen und den gleichmäßigen Luftströmungen vollziehen sich die Witterungserscheinungen in den Tropen im allgemeinen mit großer Regelmäßigkeit. In dem Gebiete der Windstillen finden tagtäglich die heftigsten Regengüsse und elektrischen Entladungen statt, indem die von dem aufsteigenden warmen Luftstrome in reichlichster Menge emporgehobenen Wasserdämpfe durch Abkühlung in den oberen kälteren Regionen wieder verdichtet werden; dagegen herrscht in den Gegenden, in welchen der Passat andauernd weht, klares, heiteres Wetter, da es hier an der Vermischung von verschiedenen Luftströmungen fehlt; Regen gehört zu den Seltenheiten; nur wenn die Sonne in das Zenith rückt, stellen sich mit dem Aufhören des Passats auch hier die täglichen Gewitterregen ein. Zuweilen wird die gleichmäßige Witterung in einzelnen Gegenden durch Orkane gestört, die mit furchtbarer Heftigkeit auftreten (s. d. Anm. d. folg. §.).

*§. 235. **Fortsetzung. Buys Ballots Windregel.** Während in den Tropen die gleichmäßige Wärmeverteilung durch das ganze Jahr hindurch im allgemeinen einen sehr einfachen Verlauf der Luftströmungen hervorruft, findet in den höheren Breiten infolge des Temperaturgegensatzes der Jahreszeiten und der ungleichen Erwärmung von Festland und Meer ein mannigfaltiger Wechsel der verschiedenartigsten Winde statt.

Einen tieferen Einblick in den Zusammenhang dieser scheinbar ganz regellosen Luftströmungen erlangte man erst in neuerer Zeit, als man anfing, lediglich die Luftdruckverteilung an der Oberfläche der Erde zum Ausgangspunkte für die Erklärung der Winde zu nehmen.

Offenbar kann die Luft nur dann im Zustande der Ruhe sich befinden, wenn der Druck, welchen dieselbe vermöge ihres Gewichtes ausübt, für alle Punkte einer beliebigen Horizontalebene der nämliche ist, während er mit wachsender Höhe des Ortes, wie wir oben in §. 64 gesehen haben, in gesetzmäßiger Weise abnimmt. Ist dagegen der Luftdruck an Orten, welche gleich hoch über dem Meeresspiegel gelegen sind, ein verschiedener, so wird die Luft von den Punkten höheren Druckes nach denjenigen niederen Druckes strömen müssen, bis daß eine Ausgleichung des Unterschiedes stattgefunden hat. Man kann daher aus den Barometerbeobachtungen, welche gleichzeitig an benachbarten Orten angestellt worden sind, einen Schluß auf die Windrichtung ziehen, vorausgesetzt, daß diese Beobachtungen bei verschiedener Höhenlage zuvor auf den Meeresspiegel reduziert worden sind (s. §. 64, Anm.). Weist die Luftdruckverteilung insbesondere einen Punkt auf, von welchem der Druck nach den verschiedenen Richtungen hin zunimmt, ein barometrisches Minimum, so wird die Luft von allen Seiten auf diesen Punkt zuströmen müssen; von einem barometrischen Maximum dagegen, bei welchem der Druck nach allen Richtungen hin abnimmt, muß die Luft nach allen Seiten hin nach außen abfließen.

Die Richtung dieser Strömungen wird aber noch wesentlich durch die Achsendrehung der Erde beeinflußt. Ganz ebenso, wie wir dies im vorhergehenden §. bei den Passatwinden gesehen haben, erleiden die größeren Luftströmungen überhaupt eine Ablenkung aus ihrer Bahn im Sinne der scheinbaren Bewegung der Sonne, also auf der nördlichen Halbkugel nach rechts (auf der südlichen nach links). Für die nördliche Halbkugel kann man nach Buys Ballot, welcher diese Einwirkung der Erdrotation zuerst (1857) durch zahlreiche Beobachtungen zweifellos feststellte, als allgemeine barische Windregel den Satz aussprechen:

Stellt ein Beobachter sich so auf, daß er dem Winde den Rücken zukehrt, so hat er das Minimum des Luftdrucks zur Linken etwas vor sich, (das Maximum zur Rechten etwas hinter sich).

Mit Hülfe dieser Regel läßt sich aus der Verteilung des Luftdrucks auf die Windrichtung schließen und umgekehrt. Insbesondere erlangen wir durch Anwendung derselben auf die mittlere Luftdruckverteilung wichtige Aufschlüsse über die vorherrschenden Winde in den höheren Breiten. Da der mittlere Luftdruck an der Oberfläche der Erde von den beiden Maximalzonen zwischen dem 30. und 40. Breitengrade nach den Polen zu abnimmt, so würde man in höheren Breiten eine Strömung nach den Polen zu erwarten und zwar infolge der Erdrotation aus westlicher Richtung. Thatsächlich sind auch in den gemäßigten Zonen beider Halbkugeln westliche Winde vorwiegend, insbesondere auf den großen Meeresflächen der südlichen, wo sie sich ungestört entfalten können, während im übrigen, zumal auf der nördlichen Halbkugel, die Verteilung der Festländer und Ozeane für die vorherrschende Luftströmung maßgebend ist.

Wegen der ungleichen Erwärmung ausgedehnter Land- und Wassermassen lagern im Sommer über größeren Kontinenten Luftdruckminima, über den Meeren Luftdruckmaxima; umgekehrt ist im Winter über den Kontinenten ein hoher Barometerstand, über den Meeren dagegen ein niedriger. — Insbesondere zeigt sich im Winter ein

deutlich ausgeprägtes Minimum über dem atlantischen Ozean in der Nähe von Island, welches im Verein mit dem hohen Barometerstande im Süden um den 30. Breitengrad die Witterung über fast ganz Europa beherrscht. Unter dem Einflusse dieser beiden Gebiete wehen daselbst vorzugsweise Winde, welche das Minimum zur Linken, das Maximum zur Rechten haben; es sind dies Südwestwinde, welche vom Ozean warme und feuchte Luft mit sich führen.

Anders liegen die Verhältnisse in den östlichen Gebieten von Nordamerika, welche sich an der Westseite des atlantischen Minimums und an der Ostseite eines im Innern von Nordamerika bestehenden Maximums befinden und infolgedessen dem barischen Windgesetze entsprechend vorwiegend Winde aus nordwestlicher Richtung haben. Da diese aus dem nördlich gelegenen Innern des Landes kalte, trockene und klare Luft herbeibringen, so ist der Temperaturgegensatz zwischen der Westküste Europas und der Ostküste Nordamerikas unter gleicher geographischer Breite erklärlich.*)

Im Sommer ist das Minimum bei Island verschwunden, das Maximum im Süden aber in der Nähe der Azoren bis zum 40. Breitengrade vorgerückt, weswegen auch dann noch über Westeuropa vorwiegend südwestliche Winde wehen; doch stellen sich auch nicht selten unter dem Einflusse eines tiefen Minimums über dem östlich gelegenen Kontinente nordwestliche Winde mit unfreundlicher Witterung ein. — Gänzlich verändert haben sich dagegen die Luftströmungen an der Ostseite von Nordamerika, woselbst in der heißen Jahreszeit, da das Minimum über dem Meere verschwunden, dagegen ein neues im Innern des Festlandes entstanden ist, Strömungen vorherrschen, welche dieses letztere zur Linken haben. Im Sommer bringen daher Winde aus südöstlicher Richtung von der See her feuchtes, kühles Wetter in dieselben Gegenden, welche im Winter durch nordwestliche Winde aus dem Innern des Landes in arktische Kälte eingehüllt werden.

In unseren Gegenden bringen östliche Winde (Landwinde) im allgemeinen einen hohen, westliche (Seewinde) einen niedrigen Barometerstand, jene die wenigsten, diese die meisten Niederschläge, Regen oder Schnee. Bei heiterem Himmel sind im Winter östliche Winde mit hohen Kältegraden, im Sommer mit großer Hitze verbunden; westliche Winde erzeugen im Winter mildes, im Sommer kühles Wetter. (Vergl. auch §. 63.

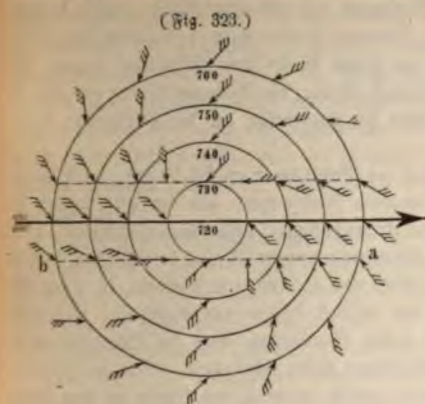
Die Auffindung des im obigen erörterten Windgesetzes, sowie anderer gesetzmäßiger Beziehunge zwischen den wechselvollen Wind- und Wetterverhältnissen unserer Breiten verdankt die neue Meteorologie wesentlich dem sorgfältigen Studium der *gleichzeitig* über ein größeres Gebiet d Erde verbreiteten Witterungserscheinungen. Um ein übersichtliches Bild dieser Verhältnisse zu erlange werden dieselben in Landkarten des betreffenden Gebietes eingetragen. Insbesondere stellt man di Luftdruckverteilung auf die Art dar, daß man Orte, an welchen ein bestimmter (auf den Meere spiegel reduzierter) Barometerstand (z. B. 760 mm) stattfindet, durch eine zusammenhängende Lin verbindet; desgleichen diejenigen, bei welchen ein anderer bestimmter Barometerstand (z. B. 755 mm vorhanden ist, u. s. w. Die auf die angegebene Weise erhaltenen Linien gleichen Luftdrucks führen de Namen *Isobaren*.

---

*) Die mittlere Januartemperatur beträgt in Newyork unter 41° nördlicher Breite — 1°, i Neapel unter gleicher Breite + 8°; von großem Einfluß ist auch, daß die Meeresströme, wie d Golfstrom, in der Richtung der vorherrschenden Winde fließen.

Solche in fortgesetzter Folge tagtäglich entworfene *Wetterkarten* zeigen deutlich, daß unsere Witterung von einzelnen Gebieten tiefsten und höchsten Luftdrucks beherrscht wird, welche ihre Lage im Laufe der Tage mehr oder weniger schnell ändern. Sehr häufig nimmt der Luftdruck von einem Punkte aus nach allen Richtungen zu, von einem anderen nach allen Seiten hin ab. Solche Gebiete, welche oft einen Durchmesser von mehreren hundert Meilen haben, treten auf den Karten dadurch hervor, daß sich die Isobaren um dieselben als geschlossene konzentrische Kurven hinziehen. Fig. 323 zeigt eine schematische Darstellung eines *wandernden Minimums*, bei welchem die Isobaren unter der Annahme, daß der Luftdruck nach allen Seiten hin gleichmäßig zunimmt, durch Kreise (mit den zugehörigen Barometerständen von 10 zu 10 mm), die Windrichtung durch kleine Pfeile angegeben sind, während der große Pfeil die Richtung bezeichnen soll, in welcher das Minimum sich fortbewegt.

(Fig. 323.)



In ein solches Gebiet tiefsten Barometerstandes, welches man auch als barometrische *Depression* bezeichnet, dringt die Luft von allen Seiten nach innen, aber nicht in einer Richtung senkrecht zu den Isobaren, in welcher offenbar die stärkste Druckabnahme stattfindet, sondern von dieser Richtung nach rechts abgelenkt. Daher wehen auch auf der Südseite südwestliche und westliche, auf der Westseite nordwestliche und nördliche, auf der Nordseite nordöstliche und östliche und auf der Ostseite südöstliche und südliche Winde. Da nun die Luft auf ihrem Wege stets wieder zu dem links gelegenen Punkte niedrigsten Barometerstandes hingezogen wird, so führt sie eine drehende Bewegung nach links hin aus, wie die schematische Fig. 324 zeigt, in welcher die gekrümmten Pfeile die Bahnen der einzelnen Luftteilchen angeben sollen. Diese Luftbewegung um ein barometrisches Minimum bezeichnet man als *Wirbelwind* oder *Cyklone*. — Bei einem barometrischen Maximum fließt andererseits die Luft nach allen Seiten unter beständiger Ablenkung nach rechts hin ab, also in nach rechts gekrümmten Bahnen, wie Fig. 325 zeigt. Im Gegensatz zur Cyklone heißt die Luftbewegung um ein barometrisches Maximum *Anticyklone*. Wir erhalten somit das wichtige Resultat:

(Fig. 324.)

Bei einem barometrischen Minimum strömt die Luft von allen Seiten nach innen auf Bahnen, welche der Bewegung des Uhrzeigers entgegengesetzt gekrümmt sind; bei einem barometrischen Maximum strömt die Luft an allen Seiten nach außen auf Bahnen, welche der Bewegung eines Uhrzeigers entsprechend gekrümmt sind.

(Fig. 325.)



Die Größe der Ablenkung richtet sich einmal, wie wir schon gesehen haben, nach der geographischen Breite des Ortes, sodann aber auch wesentlich nach der Geschwindigkeit, mit welcher die Luftströmung stattfindet; sie wächst mit dieser, sodaß bei heftigen Stürmen die Windrichtung nahezu den Isobaren parallel verläuft. Diese Geschwindigkeit, mit anderen Worten die Stärke des Windes, hängt von der Luftdruckdifferenz ab, welche in der Richtung der größten Druckabnahme, also senkrecht zu den Isobaren zwischen zwei benachbarten Orten stattfindet; sie ist daher um so größer, je näher die Isobaren zusammenrücken, um so geringer, je weiter sie auseinander treten. Dieser Unterschied, in einer Richtung senkrecht zu den Isobaren gemessen und auf eine bestimmte Entfernung, gewöhnlich auf 1° (= 15 Meilen) bezogen,

wird als barometrischer **Gradient** bezeichnet. Derselbe hat für die Luftbewegung eine ähnliche Bedeutung, wie das Gefälle für die Stromgeschwindigkeit. Beträgt er über 4,5 mm, so ist die Luftbewegung stürmisch. — Bei einem barometrischen Maximum sind die Gradienten gewöhnlich klein, sodaß die Isobaren weit auseinander treten und nur schwache Strömungen vorhanden sind, welche vielfach infolge lokaler Einflüsse Abweichungen von der Buys Ballot'schen Windregel zeigen. Bei einer Depression sind dagegen die Gradienten im allgemeinen stärker, die Isobaren dichter gedrängt; es herrscht in dem Gebiete eine lebhafte Luftbewegung, welche sich namentlich an der Vorderseite oftmals in heftigen Stürmen kundgiebt.

Während die barometrischen Maxima den Charakter des Beständigen an sich tragen, meist längere Zeit über derselben Gegend andauern und sich nur langsam fortbewegen, gilt im allgemeinen das Umgekehrte von einer Depression, worauf wesentlich die Unbeständigkeit und Launenhaftigkeit unseres Wetters beruht. Die meisten Depressionen, welche die Witterung unserer Gegend beeinflussen, kommen von dem atlantischen Ozean her, erscheinen zunächst westlich von Irland und wandern in einer mehr oder weniger **östlichen** Richtung nach Skandinavien und in das Innere von Rußland, woselbst sie sich allmählich ausfüllen und verschwinden. Infolge dieser Wanderung muß die Windrichtung an Orten, über welche die Depression hinzieht, in ganz bestimmter Weise sich ändern. Geht das Centrum, welches in der Richtung von Westen nach Osten fortschreiten möge, nördlich von einem in dem Bereich der Depression gelegenen Orte a (Fig. 323) vorbei, so wird an diesem Orte die Windfahne der Reihe nach die Richtung der Pfeile annehmen, durch welche auf der Linie ab von a nach b hin die Richtung des Windes angedeutet ist. Es wird sich also der Wind, welcher von Südost her einsetzt, durch Süd und West mit dem weiteren Fortschreiten der Depression nach Nordwest (also mit der Sonne) drehen. Hierin liegt das schon früher von **Dove** erkannte **Winddrehungsgesetz** begründet, demzufolge der Wind auf der nördlichen Halbkugel sich im allgemeinen mit der Sonne dreht. Es gilt dieses Gesetz jedoch nur für Gegenden, wie die unsrigen, welche sich im Süden der vorbeiziehenden Depressionen befinden, während für ein nördlich gelegenes Gebiet, wie dies aus Fig. 323 leicht zu ersehen ist, die Drehung des Windes in entgegengesetztem Sinne stattfindet. An einem Orte, über welchen sich das Centrum selbst fortbewegt, wird der zunächst an der Vorderseite wehende Südost nach einer kleinen Pause, während welcher sich die Mitte des Wirbels über dem Orte befindet, in den auf der Rückseite wehenden Nordwest umspringen.

In einem Depressionsgebiete fließt die Luft von allen Seiten nach innen; da nun trotzdem das barometrische Minimum längere Zeit anhält, so muß in der Mitte des Wirbels ein **aufsteigender** Strom fortdauernd die zugeführten Luftmassen in die Höhe treiben, und dem entsprechend in den oberen Schichten die emporgetriebene Luft wieder nach außen hin abfließen. Andererseits muß in einem barometrischen Maximum, bei welchem oft viele Tage hindurch der Wind nach außen weht, ohne daß das Maximum wesentlich an Stärke abnimmt, immerfort ein **Niedersinken** von Luftmassen stattfinden, welche in den oberen Regionen dem Maximum zuströmen. Demnach würde zwischen den Gebieten niedrigsten und höchsten Luftdrucks ein fortwährender Luftaustausch stattfinden. Hierauf deuten auch die in neuerer Zeit gemachten Beobachtungen über die Bewegung der höchsten Wolken, der Federwolken (Cirren, §. 245, Anm.), welche gewöhnlich eine Depression in den höchsten Luftschichten an der Außenseite begleiten und in einer Richtung von dem Innern der Depression nach einem Maximum hinziehen.*)

In dem Vorhandensein dieser auf- und absteigenden Ströme finden auch die verschiedenen Witterungserscheinungen, welche in einem barometrischen Minimum und Maximum stattfinden, ihre Erklärung. Im Innern einer Depression herrscht meist trübes, regnerisches Wetter, da die mit der aufsteigenden Luft emporgeführten Wasserdämpfe in den höheren Schichten sich abkühlen und verdichten; starke Niederschläge finden insbesondere an der Vorderseite (Ostseite) statt, wo die durch südliche bis westliche Winde vom Meere herbeigeführte warme, feuchte Luft emporsteigt, während sich an der Rückseite unter westlichen bis nördlichen Winden kälteres, veränderliches Wetter einstellt, bei welchem Sonnenschein mit heftigen Regenschauern abwechselt. — Im Gegensatz zu einer Depression zeichnet sich

---

*) Das Erscheinen von Federwolken ist daher häufig ein Zeichen für das Herannahen einer Depression, also für den Eintritt schlechten Wetters.

das Gebiet eines barometrischen Maximums gewöhnlich durch anhaltend klares, trockenes Wetter aus, indem die aus der Höhe niedersinkende Luft, welche wegen ihrer niedrigen Temperatur nur geringe Mengen Wasserdampf enthält, in den unteren Schichten wärmer und dadurch noch trockener wird.

Wie wir im vorhergehenden gesehen haben, stehen die veränderlichen, scheinbar regellosen Luftströmungen der höheren Breiten in gesetzmäßigem Zusammenhange mit der Luftdruckverteilung und den Änderungen, welchen dieselbe unterworfen ist. Wodurch aber diese mannigfach wechselnde Verteilung, welche nach dem Früheren im allgemeinen von den Temperaturverhältnissen der Luft abhängig ist, im einzelnen bedingt wird, wie insbesondere die Cyklonen und Anticyklonen entstehen, warum sie bestimmte Bahnen einschlagen, bald schnell, bald langsam wandern, darüber wissen wir bislang noch nichts Genaueres.

Nach den neueren Forschungen sind alle Stürme als Wirbelbewegung aufzufassen; doch sind die Wirbelwinde in unseren Gegenden meistens nur in einem Teile ihres Gebietes, namentlich an der Vorderseite, stürmischer Natur. Vollständig ausgeprägte Wirbelstürme bilden die gewaltigen Orkane der Tropen, die Hurrikane der westindischen, wie die Teifune der chinesischen Gewässer. Im Gegensatz zu den Wirbelstürmen der höheren Breiten treten die Cyklonen der Tropen nur verhältnismäßig selten, aber gewöhnlich mit ungeheurer Heftigkeit auf. Bei geringer Ausdehnung zeigen sie weit größere Unterschiede im Luftdruck; indem der Barometerstand im Centrum nicht selten bis auf beinahe 700 mm sinkt, kommen Gradienten von 15—20 mm, ja zuweilen über 50 mm vor, welche mehr als das 10fache von den Sturmgradienten in unseren Breiten betragen. Daher tobt der Sturm in einer solchen Cyklone mit unwiderstehlicher Gewalt und treibt die Luft fast in der Richtung der Isobaren in einer nahezu kreisförmigen Bewegung um das Centrum, welches sich gerade bei den tropischen Orkanen durch völlige Windstille auszeichnet.

Zu den auf einen noch engeren Raum beschränkten Wirbeln sind auch die Windhosen oder Tromben zu rechnen. Man unterscheidet, je nachdem dieselben sich über das Land oder über das Wasser bewegen, Land- und Wasserhosen. Sie bestehen meistens aus zwei mit den Spitzen zusammenstoßenden kegelförmigen Teilen, von denen der obere durch eine herabhängende Wolke, der untere bei den Wasserhosen durch eine emporgehobene Wassersäule, bei den Landhosen aber durch Staub und andere leichte Körper gebildet wird. Sie schreiten mit einer mehr oder weniger großen Geschwindigkeit fort und stehen häufig in ihren Wirkungen den heftigsten Sturmwinden nicht nach, aber erstrecken sich nur über einen schmalen Strich, dessen Breite einige hundert Meter nicht übersteigt. Zu beiden Seiten dieses schmalen Striches, über welchen die Windhose sich bewegt, und innerhalb dessen sie die größten Verheerungen anrichten kann, findet nicht selten völlige Windstille statt.

Endlich wollen wir noch bemerken, daß Winde selbst durch eine auf einen verhältnismäßig sehr engen Raum beschränkte, ungleiche Erwärmung der Luft hervorgerufen werden können, wie dies nicht selten bei Feuersbrünsten, besonders aber bei großen Waldbränden beobachtet wird.

B. Veränderung des Aggregatzustandes.

§. 236. Vom Schmelzen. Wir haben im vorhergehenden die Ausdehnung der Körper als die erste Hauptwirkung der Wärme kennen gelernt; die zweite besteht in der Veränderung des Aggregatzustandes. Feste Körper gehen bei vermehrter Wärme in den flüssigen, flüssige in den luftförmigen Zustand über. Wir beschäftigen uns hier zunächst mit der ersteren Erscheinung, mit dem Schmelzen der festen Körper.

Wenn man an einem kalten Wintertage eine Schüssel mit Schnee oder zerstoßenem Eise in eine geheizte Stube bringt, so wird ein in den Schnee oder das Eis eingetauchtes Thermometer anfangs nach Maßgabe der draußen herrschenden, vom Schnee oder Eise angenommenen Lufttemperatur bis auf mehrere Grade unter den Nullpunkt fallen, dann aber sich allmählich bis zu diesem Punkte erheben, indem dem Schnee oder Eise Wärme von den Umgebungen in der geheizten Stube zugeführt

wird. So wie das Eis die Temperatur von 0° erreicht hat, fängt es an zu schmelzen, und das Thermometer steigt nun nicht mehr, sondern bleibt eine längere Zeit unveränderlich auf Null Grad stehen, so lange nämlich, bis aller Schnee geschmolzen ist. Selbst wenn man, um den Schmelzungsprozeß zu beschleunigen, unter dem Gefäße Feuer, z. B. eine brennende Spirituslampe, anbringt, bleibt doch das Thermometer so lange auf Null Grad stehen, als noch ungeschmolzenes Eis vorhanden ist. Erst nachdem alles Eis in Wasser verwandelt worden ist, fängt das Thermometer wieder an zu steigen und fährt hiermit bis zu der Temperatur des Siedepunktes fort. Ist diese erreicht, so tritt zum zweiten Mal ein Stillstand ein. Während der ganzen Dauer des Siedens zeigt das Thermometer unveränderlich die nämliche Temperatur von 100 Grad und steigt erst dann wieder, wenn alles Wasser in Dampf verwandelt worden ist.

Da hiernach die Wärme, welche dem Wasser während des Schmelzens oder Siedens zugeführt wird, keine Erhöhung der Temperatur bewirkt, sondern lediglich zur Änderung des Aggregatzustandes verwendet wird, so nennt man dieselbe Schmelz- oder gebundene Wärme.

Wir berücksichtigen hier zunächst nur die beim Schmelzen gebundene Wärme. Wenn man 1 kg fein zerstoßenes Eis von 0° mit 1 kg Wasser von 80° (genauer 79,25°) vermischt, so erhält man 2 kg Wasser von 0°. Dieselbe Wärmemenge, welche dazu genügt hat, die Temperatur des einen kg Wasser um 80° zu erhöhen, wird also dazu verbraucht, um 1 kg Eis von 0° in 1 kg Wasser von 0° zu verwandeln. Diejenige Wärmemenge nun, welche die Temperatur von 1 kg Wasser von 0° bis 1° zu erhöhen imstande ist, wird eine Wärmeeinheit oder Kalorie genannt. Beim Schmelzen des Eises werden mithin (ungefähr) 80 Wärmeeinheiten gebunden.

Was wir vom Schmelzen des Eises gesagt haben, gilt im wesentlichen auch vom Schmelzen anderer festen Körper. Allemal wird bei dem Übergange eines festen Körpers in den flüssigen Zustand Wärme gebunden. Die Menge dieser Wärme ist für verschiedene Körper verschieden und beträgt z. B. für Schwefel 9,4 Wärmeeinheiten, d. h. dem bis unmittelbar unter die Temperatur des Schmelzpunktes erwärmten Schwefel muß, damit derselbe aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehe, noch eine Wärmemenge zugeführt werden, welche imstande ist, die Temperatur desselben Gewichtes Wasser von 0° bis 9,4° zu erhöhen. (Für Blei beträgt dieselbe 5,4, für Zink 28,1, für Silber 21,1, für Quecksilber 2,8 Wärmeeinheiten.) Von allen bis jetzt untersuchten Körpern hat das Wasser die größte Schmelzwärme.

Dieselbe Wärmemenge, welche beim Schmelzen eines festen Körpers gebunden wird, wird beim Übergange dieses Körpers aus dem flüssigen in den festen Zustand wieder frei, wie aus folgendem Versuche hervorgeht.

Gegen Erschütterung geschütztes Wasser kann, besonders wenn es durch Auskochen luftfrei gemacht ist*), ohne zu erstarren bis auf 10 oder mehr Grad unter Null erkalten. Hat man vorher in das Wasser ein Thermometer eingesenkt, und ist dieses

*) Vergl. die Anm. zu §. 232.

unter 0° herabgesunken, so erstarrt bei einer (hinreichend starken) Erschütterung oder noch besser, wenn man ein Stückchen Eis hineinbringt, ein Teil des Wassers; der andere Teil bleibt flüssig, und das in das Wasser eingetauchte Thermometer steigt rasch von — 10° bis auf 0°. Durch die beim Erstarren des einen Teiles frei werdende Wärme hat sich folglich die ganze Masse um 10° erwärmt.

Diese Erscheinung, daß 1 kg Wasser von 0° 80 Wärmeeinheiten mehr enthält als 1 kg Eis von 0°, daß also das Eis erst diese bedeutende Wärmemenge aufnehmen muß, um in Wasser verwandelt zu werden, und umgekehrt dem Wasser die nämliche Wärmemenge entzogen werden muß, wenn dasselbe zu Eis erstarren soll, ist im Haushalte der Natur von nicht geringer Wichtigkeit. Ohne diesen Umstand würde das Schmelzen des Eises und Schnees bei eintretender Frühlingswärme fast plötzlich erfolgen und meist von den verheerendsten Überschwemmungen begleitet sein. Ebenso würden, wenn mit dem beginnenden Winter die Lufttemperatur unter Null Grad herabgeht, die Flüsse und Seen äußerst rasch sich mit Eis bedecken und die Schiffahrt plötzlich unterbrochen werden u. dgl. m.

Auf der beim Schmelzen gebundenen Wärme beruhen auch die Mischungen, welche dazu dienen, künstliche Kälte zu erregen. Mischt man z. B. Kochsalz von gewöhnlicher Temperatur und Schnee mit einander, so sinkt die Temperatur der Mischung bis uf 10 und mehr Grad unter Null. Damit nämlich Schnee und Salz, welche eine roße Neigung sich zu vereinigen haben, sich wirklich verbinden können, müssen erst ide aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehen, wozu die Aufnahme einer roßen Menge Wärme erforderlich ist. — Umgekehrt wird Wärme frei, wenn zwei lüssige Körper oder ein fester und ein flüssiger Körper eine feste Verbindung eingehen, oraus sich die starke Erhitzung erklärt, wenn man gebrannten Kalk mit Wasser bergießt, welches sich mit dem Kalke zu einem festen Körper (Kalkhydrat) verbindet.

Auch bei dem Krystallisieren in Flüssigkeiten aufgelöster fester Körper wird Wärme frei.

Die Schmelzwärme des Wassers ist zuerst von dem Engländer Black 1763 nachgewiesen worden.

Wenn man in einem Medizingläschen eine Auflösung von einem Teile Wasser und zwei Teilen ystallisiertem Glaubersalz bis zum starken Sieden erhitzt, so daß in dem Fläschchen über der Auflösung ein luftleerer, nur mit Dämpfen erfüllter Raum entsteht, hierauf das Fläschchen rasch verkorkt nd die allmählich erkaltende Auflösung gegen Erschütterung schützt, so beibt dieselbe flüssig. Öffnet an nach dem Erkalten das Fläschchen und taucht in die Auflösung ein Thermometer, so tritt eine ische Krystallisation des Glaubersalzes und eine so merkliche Zunahme der Temperatur ein, daß ieselbe sich nicht bloß am Thermometer, sondern auch durch das Gefühl zu erkennen giebt. — Noch ärker ist die Temperaturerhöhung beim Erstarren des unterschwefligsauren Natrons, welchem man in Wasser zuzusetzen hat, da es in seinem Krystallwasser schmilzt.

Die Landleute benutzen die beim Gefrieren des Wassers frei werdende Wärme, um in nicht tiefen ellern Obst, Kartoffeln u. s. w. gegen Frost zu schützen, indem sie neben diese Gefäße mit Wasser stellen.

So wie wir oben gesehen haben, daß sich Wasser, wenn dasselbe gegen Erschütterung geschützt ist, ohne erstarren, erheblich unter Null abkühlen läßt, so gilt das nämliche auch von sehr heftig bewegtem Wasser, ner von Wassermassen, welche einen sehr geringen Durchmesser haben, z. B. wenn das Wasser in feine arröhrchen eingeschlossen ist oder sich in sehr kleinen Tröpfchen auf einer Fläche, welche nicht von nselben benetzt wird, z. B. auf Sammet oder einer bestäubten Fläche befindet. Die Berührung mit er feinen Nadelspitze bewirkt dann plötzlich das Erstarren des bis dahin flüssigen Tröpfchens. — Es lärt sich hieraus, daß auch bei einer Lufttemperatur unter Null Grad noch Regen fallen kann.

Auch wenn Wasser einem sehr starken Drucke unterworfen ist, welcher die Ausdehnung desselben beim Erstarren zu verhindern vermag, so läßt sich dasselbe ohne zu erstarren, bis mehrere Grade unter Null abkühlen. Überhaupt wird durch sehr starken Druck der Erstarrungspunkt (oder, was ganz dasselbe sagen will, der Schmelzpunkt) bei denjenigen Substanzen, welche sich beim Erstarren ausdehnen, erniedrigt und bei denjenigen, die sich hierbei zusammenziehen, erhöht.

Die folgenden Kälte erregenden Mischungen erkalten	von	bis
6 Teile salpetersaures Ammoniak und 10 Teile Wasser	+13,6°	−13,6°
3 Teile Schnee und 1 Teil Kochsalz	0	−21
3 Teile Schnee und 1 Teil Schwefelsäure (4 Vitriolöl, 1 Wasser)	0	−32,5
8 Teile Schnee und 5 Teile verdünnte Salzsäure	0	−33
3 Teile Schnee und 4 Teile Chlorcalcium	0	−48

Wasser, welches Salze aufgelöst enthält, friert bei um so niedrigeren Temperaturen, je größer die Menge des gelösten Salzes ist. Ähnliches gilt vom Wasser, welchem Spiritus beigemengt ist. Beim Frieren wird das Salz oder der Spiritus ausgeschieden. Das aus Salzlösungen oder dem Meerwasser entstandene Eis ist reines Wasser, welches nur in Hohlräumen kleine Ablagerungen von Salzteilen zu enthalten pflegt. — Auch bei Metalllegierungen liegt der Schmelzpunkt niedriger als der des strengflüssigeren Bestandteiles; bei dem Rose schen Metallgemische, welches aus 2 Teilen Wismut, 1 Teil Blei und 1 Teil Zinn besteht, liegt der Schmelzpunkt beträchtlich niedriger als der eines jeden Bestandteiles, indem dasselbe schon bei 94° schmilzt. — Eine von dem Amerikaner Wood (1860) angegebene Legierung von 1—2 Teilen Kadmium, 7—8 Teilen Wismut, 2 Teilen Zinn und 4 Teilen Blei schmilzt sogar schon zwischen 65—70°. — Eine Legierung von 3 Teilen Kalium und 1 Teil Natrium, welche man unter rektifiziertem Steinöl zusammenschmilzt, ist bei der gewöhnlichen Lufttemperatur flüssig. — Das so strengflüssige Platin läßt sich mit den meisten Metallen leicht zusammenschmelzen. — Auf demselben Grunde beruht auch das Schnelllot der Klempner, eine Komposition aus 2 Teilen Zinn und 1 Teil Blei, welche bei 171° schmilzt, und der sogenannte Zuschlag oder Fluß, welchen man in Hochöfen anwendet, um die strengflüssigen Metalle zum Schmelzen zu bringen, und wozu unter anderm der hiervon benannte Flußspat gehört.

Die folgende Tafel giebt die Schmelzpunkte einiger Substanzen an.

Eisen	1600° / 1500	Zink	360°
		Blei	330
Stahl	1400 / 1300	Wismut	270
		Zinn	230
Graues Gußeisen	1200	Schwefel	111
Weißes Gußeisen	1050	Weißes Wachs	68
Gold	1200	Gelbes „	61
Kupfer	1090	Eis	0
Silber	1000	Quecksilber	−39

§. 237. Von der Bildung der Dämpfe im allgemeinen. Während der Übergang der festen Körper in den flüssigen Zustand nur bei einer bestimmten Temperatur erfolgt, findet die Verwandlung der flüssigen Körper in luftförmige, des Wassers in Dampf, bei jeder Temperatur statt, wie unzählige bekannte Erfahrungen lehren. So beruht hierauf das Trocknen der Wäsche, das Austrocknen feuchter Wege, der Gräben und Teiche bei trockener Witterung u. s. w. Überhaupt vermindert sich das Wasser in jedem offenen Gefäß, welches keinen Zufluß erhält, beständig, bis nach längerer oder kürzerer Zeit dasselbe gänzlich verschwunden ist, sich in Dampf verwandelt hat.

Selbst feste Körper verdunsten, d. h. sie gehen in den luftförmigen Zustand über, was sich bei manchen, wie Kampfer und Moschus, schon an dem starken Geruch derselben erkennen läßt. Aber auch bei Metallen, wie Zinn, Blei und Kupfer schließen

us dem Geruche derselben auf eine Verdunstung, obschon wir nicht imstande diese auf direktem Wege durch eine Abnahme des Gewichts nachzuweisen.

Die Verdunstung schreitet jedoch unter übrigens gleichen Umständen um so r fort, je höher die Temperatur des verdunstenden Körpers ist; sie erfolgt am sten beim Sieden einer Flüssigkeit. Der Grund hiervon ist, daß beim Sieden, wir schon im vorherg. §. gesehen haben, alle der Flüssigkeit zugeführte Wärme Dampfbildung, bei niedrigen Temperaturen aber nicht bloß hierzu, sondern auch rhöhung der Temperatur der Flüssigkeit verwandt wird. Der zweite wesentliche schied der Dampfbildung beim Sieden und bei niederen Temperaturen besteht darin, ei Temperaturen, welche unter dem Siedepunkte liegen, die Verwandlung der gkeit in Dampf nur an der Oberfläche erfolgt, beim Sieden aber sich auch im rn der Flüssigkeit Dampfblasen bilden, welche durch ihr Aufsteigen das scheinung des Siedens charakterisierende Aufwallen der Flüssigkeit hervorbringen. Grund dieser Verschiedenheit werden wir weiter unten (§. 240) kennen lernen.

§. 238. Spannkraft und Dichtigkeit der Dämpfe. Um die Gesetze der pfbildung zu erforschen, ist es notwendig, dieselbe im luftleeren Raume zu ren. Der hierzu dienende Apparat, welcher zugleich eine Abmessung der Spann- des gebildeten Dampfes zuläßt, besteht im wesentlichen in einem Gefäß- neter (Fig. 326). Bringt man in den luftleeren Raum über dem Quecksilber in Röhre einige Tropfen Wasser, was leicht geschehen kann, weil diese in dem specifisch schwereren Quecksilber emporsteigen, so sieht man das emporgestiegene Wasser sich rasch vermindern, in Dampf übergehen und das Quecksilber in der Röhre (um einige Millimeter) fallen. Die Größe dieses Fallens aber oder, was dasselbe sagen will, der Unterschied im Stande dieses Dampfbarometers und eines gewöhnlichen Barometers, in dessen längerem Schenkel sich über dem Quecksilber ein luftleerer Raum befindet, giebt die Spannkraft des gebildeten Wasserdampfes an.

(Fig. 326.)



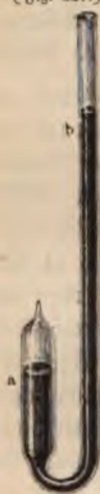
Bringt man das Wasser in die Torricellische Leere nur ganz allmählich und in kleineren Quantitäten, so sieht man jeden einzelnen Tropfen bei seiner Ankunft in der Torricellischen Leere sich rasch vermindern und verschwinden und das Quecksilber infolge des Druckes der gebildeten Dämpfe fallen. Hat aber die Menge dieser Dämpfe bis zu einem gewissen Grade zugenommen, so findet keine weitere Dampfbildung und kein durch diese bewirktes Fallen des Quecksilbers mehr statt, wenn man auch noch mehr Wasser in den Raum über dem Queck- treten läßt. Man nennt einen solchen Raum, welcher keine Dämpfe mehr nehmen vermag, mit Dämpfen gesättigt.

Je höher die Temperatur eines Raumes ist, um so größer ist auch Menge der Dämpfe, welche derselbe zu fassen vermag, und um rößer die Spannkraft dieser Dämpfe. — Um hierüber genaue Maß- mungen zu erhalten, senkt man den in Fig. 326 abgebildeten Apparat in einen

hohen gläsernen Cylinder, welcher ganz mit Wasser angefüllt ist, das sich bis zu beliebigen Temperaturen erwärmen läßt. Man findet dann, daß die Menge und Spannkraft der Dämpfe, welche der leere Raum über dem Quecksilber zu fassen vermag, mit der Temperatur rasch zunimmt, und daß **bei der Temperatur des Siedepunktes die Spannkraft dieser Dämpfe genau gleich dem Luftdrucke ist**, daß also dieselben einer ebenso großen Quecksilbersäule (76 cm) wie die Luft das Gleichgewicht zu halten vermögen.

Um die Spannkraft der Dämpfe für höhere Temperaturen zu bestimmen, läßt das bisher beschriebene Verfahren keine Anwendung zu. Für diesen Zweck kann der (Fig. 327) abgebildete Apparat dienen. Derselbe besteht aus einer gläsernen Röhre, welche sich von einem Gefäßbarometer nur darin unterscheidet, daß der längere Schenkel b oben offen und das Gefäß a in eine feine Spitze ausgezogen ist. Der Raum über dem Quecksilber in dem Gefäße a wird ganz mit Wasser angefüllt und hierauf die feine Spitze zugeschmolzen. Wird dann dieser Apparat mit dem kürzeren Schenkel in eine bis über 100° erwärmte Flüssigkeit, z. B. in Öl getaucht, so bilden sich im kürzeren Schenkel Dämpfe, und die Höhe des Quecksilbers im offenen Schenkel b über dem Quecksilber im verschlossenen Schenkel a, vermehrt um die Größe des Luftdrucks, giebt die Spannkraft der gebildeten Dämpfe an.

(Fig. 327.)



Durch die in der angezeigten Art angestellten Versuche haben sich für die Dämpfe folgende Gesetze ergeben: — Dämpfe, welche vom Sättigungspunkte noch weit entfernt sind, zeigen im wesentlichen alle Eigenschaften der luftförmigen Körper überhaupt; sie lassen sich durch vermehrten Druck zusammenpressen, dehnen sich bei nachlassendem Drucke wieder aus und folgen hierbei, wenn man dieselben keinem zu starken Drucke unterwirft, dem **Mariotte**schen Gesetze (§. 66). Ebenso dehnen sie sich bei gleichbleibendem Drucke, aber vermehrter Wärme aus und ziehen sich bei verminderter Wärme zusammen. **Die Dichtigkeit der Dämpfe läßt sich jedoch durch Verminderung der Temperatur oder durch Vergrößerung des Druckes nur bis zu einer gewissen Grenze steigern**, nämlich soweit, bis der von den Dämpfen erfüllte Raum mit diesen gesättigt ist. Haben die Dämpfe dieses Maximum der Dichtigkeit und Spannkraft erreicht, so nimmt, wenn dieselben bei ungeänderter Temperatur einem größeren Drucke unterworfen werden, ihre Dichtigkeit und Spannkraft nicht mehr zu, sondern sie verwandeln sich in tropfbare Flüssigkeit; ebenso wird ein Teil der Dämpfe kondensiert, wenn bei gleichbleibendem Drucke eine Verminderung der Temperatur eintritt.

Vergleicht man die **Dichtigkeit der Dämpfe** mit der Dichtigkeit der trockenen, nur aus Sauerstoff und Stickstoff gemischten, atmospärischen Luft, so findet man, daß die Dichtigkeit des nicht gesättigten Wasserdampfes sehr nahe gleich $^5/_8$ (genauer 0,623) von der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur ist, und daß daher bei mittlerem Luftdrucke Wasserdampf von 100° ungefähr 1700 mal (genauer 1689 mal) leichter als Wasser von der nämlichen Temperatur ist.

Die vorhergehenden Untersuchungen betrafen zunächst nur den Wasserdampf. Sie gelten indessen im wesentlichen auch für die Dämpfe anderer Flüssigkeiten. Doch ist für verschiedene Flüssigkeiten auch die Spannkraft und die Dichte ihrer Dämpfe verschieden. Bei einerlei Temperatur ist die Spannkraft des Dampfes einer Flüssigkeit um so größer, je niedriger die Temperatur ist, bei welcher die Flüssigkeit siedet, also z. B. beim Spiritus oder Schwefeläther größer, beim Quecksilber bedeutend kleiner als beim Wasser. Für alle Flüssigkeiten aber gilt das Gesetz, daß die Spannkraft der Dämpfe beim Sieden dem atmosphärischen Luftdrucke gleich ist.

Die obige Angabe über die Dichtigkeit des Wasserdampfes ist dadurch erhalten worden, daß man eine genau abgewogene Menge Wasser in eine graduierte, mit Quecksilber gefüllte und mit dem untern offenen Ende ähnlich wie beim Torricellischen Versuche in ein Gefäß mit Quecksilber getauchte Röhre brachte, durch Erwärmung vollständig verdampfen ließ und den von den Dämpfen eingenommenen Raum, ihre Spannkraft und Temperatur sorgfältig abmaß. Auf ähnliche Art, wie die Dichtigkeit des Wasserdampfes (0,623), ist auch die Dichtigkeit der Dämpfe anderer Flüssigkeiten (Alkohol 1,6, Schwefeläther 2,6, Quecksilber 7,0) gefunden worden.

Die im Haupttext angegebenen Methoden zur Bestimmung der Spannkraft der Dämpfe, wie sie in der That von älteren Physikern angewendet worden sind, sind nur zu dem Zwecke hier aufgeführt, um überhaupt die Möglichkeit dieser Abmessungen zu zeigen; dieselben gewähren jedoch keine volle Genauigkeit. Die nämlichen Abmessungen sind später nach genaueren, aber umständlicheren Methoden wiederholt worden, deren Beschreibung uns hier zu weit führen würde.

Die Dämpfe folgen dem Mariotteschen Gesetze nur so lange, als sie weit von dem Sättigungspunkte entfernt sind. Wenn sie durch verstärkten Druck oder erniedrigte Temperatur in die Nähe dieses Punktes gelangen, so findet eine Zusammenziehung derselben statt, welche ihrem Übergange in den flüssigen Zustand vorangeht.

Dämpfe, welche von Wasser aufsteigen, welches Salze aufgelöst enthält, haben eine etwas geringere Spannkraft als die von reinem Wasser bei gleicher Temperatur aufsteigenden Dämpfe.

Bei Dämpfen, welche von Gemengen solcher Flüssigkeiten, die sich nicht mischen, wie z. B. Wasser und Schwefelkohlenstoff, entbunden werden, ist die Spannkraft übereinstimmend mit dem Daltonschen Gesetze (§. 243) gleich der Summe der Spannkräfte, welche die Dämpfe der Gemengteile bei der nämlichen Temperatur haben. Bei Flüssigkeiten dagegen, welche sich in jedem Verhältnisse mit einander vermischen, wie Wasser und Spiritus, ist die Spannkraft der gemengten Dämpfe kleiner als die des Dampfes der flüchtigeren Flüssigkeit bei derselben Temperatur.

Die folgende Tabelle giebt die Spannkraft des Wasserdampfes für Temperaturen unter 100° in Millimetern einer Quecksilbersäule, welcher der Dampf das Gleichgewicht zu halten vermag, für höhere Temperaturen aber in Atmosphären an.

Temperatur.	Spannkraft in Millimetern.	Temperatur.	Spannkraft in Millimetern.	Temperatur.	Spannkraft in Atmosphären.
−20°	0,927	30°	31,548	100°	1
15	1,400	35	41,827	120,6	2
10	2,093	40	54,906	133,9	3
5	3,113	50	91,982	144	4
0	4,600	60	148,791	159,2	6
+ 5	6,534	70	233,093	170,8	8
10	9,165	80	354,643	180,3	10
15	12,699	90	525,392	213	20
20	17,391	100	760,000	236,2	30
25	23,550			252,5	40

§. 239. Kondensation der Gase. Manche Luftarten behalten die luftförmige Gestalt nur bei höherer Temperatur oder geringem äußeren Druck; bei Verminderung der Wärme oder Verstärkung des Druckes kehren sie bald in den flüssigen Zustand zurück, in welchem sie sich uns am häufigsten zeigen, wie z. B. Wasser, Spiritus, Äther u. dgl. Solche Luftarten bezeichnet man gewöhnlich als Dämpfe, während diejenigen Luftarten, welche bei gewöhnlicher Temperatur und mäßigem Druck luftförmig bleiben, wie z. B. atmosphärische Luft, Leuchtgas, Kohlensäure, Gase im engeren Sinne genannt werden. Zwischen den Dämpfen und den Gasen findet hiernach kein absoluter, sondern nur ein relativer Unterschied statt, da alle Gase in den flüssigen Zustand übergehen, wenn sie nur einer hinreichend niedrigen Temperatur und einem hinreichend starken Druck ausgesetzt werden.

Nimmt die Temperatur eines Gases ab, so vermindert sich gleichzeitig der Druck, welcher zur Verflüssigung erforderlich ist. Bei einer hinreichend tiefen, für verschiedene Gase sehr verschiedenen Temperatur gehen alle Gase schon unter einem Drucke, welcher dem gewöhnlichen Luftdrucke (1 Atmosphäre) gleich ist, in den flüssigen Zustand über. — Andererseits giebt es für jedes Gas eine gewisse höchste Temperatur, oberhalb welcher dasselbe überhaupt nicht zu einer Flüssigkeit verdichtet werden kann. Man bezeichnet dieselbe als die kritische Temperatur des Gases. Sie beträgt z. B. für Kohlensäure 31°. Hat Kohlensäure eine höhere Temperatur, so läßt sich dieselbe auch bei Anwendung des stärksten Druckes nicht in den flüssigen Zustand überführen.

Einige Gase, z. B. schwefelige Säure, lassen sich schon bei gewöhnlichem Luftdruck mit Hülfe einer Kältemischung (z. B. von Kochsalz und Schnee, §. 236) verflüssigen. Man leitet die Gase zu dem Zweck durch Gefäße, welche von der Kältemischung umgeben sind.

Um Gase durch Druck zu verdichten, bedient man sich am bequemsten einer Kompressionspumpe (§. 71). — Die Verdichtung von Gasen, welche erst unter Anwendung eines sehr starken Druckes flüssig werden, wie z. B. Kohlensäure, welche bei 13° einen Druck von beinahe 50 Atmosphären erfordert, geschieht gewöhnlich in dickwandigen, schmiedeeisernen Flaschen, welche auf eine genügende Festigkeit geprüft sind. In eine solche Flasche wird das Gas vermittelst einer starken Kompressionspumpe hineingepreßt, während die Flasche gleichzeitig von einer Kältemischung umgeben ist.

Auf die angegebene Weise kann Kohlensäure zu einer farblosen, äußerst flüchtigen Flüssigkeit verdichtet werden, welche an freier Luft schon bei —80° siedet. Dieselbe erzeugt beim Ausströmen aus der Öffnung des Gefäßes durch teilweise Verdunstung eine solche Kälte, daß ein anderer Teil der Flüssigkeit unter den Gefrierpunkt abgekühlt und in den festen Zustand übergeführt wird, in welchem derselbe ein dem Schnee ähnliches Aussehen zeigt. Dieser Kohlensäureschnee besitzt an freier Luft eine Temperatur von —70° und hält sich längere Zeit, da er ein schlechter Wärmeleiter ist. Quecksilber erstarrt in demselben sehr leicht zu einer festen Masse. — Die flüssige Kohlensäure findet seit einigen Jahren mehrfache Verwendung im großen, z. B. zur Herstellung von künstlichem Selterswasser, sowie zur Erzeugung von künstlicher Kälte.

Entscheidende Versuche über die Kondensation von Gasen sind zuerst von dem Engländer Faraday (1823) angestellt worden. In einer Mischung von fester Kohlensäure mit Äther erzeugte er durch Verdampfung im luftleeren Raume eine Kälte von ungefähr —110°; doch waren seine Versuche bei einigen Gasen, wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff erfolglos. Diese Gase widerstanden bis vor wenigen Jahren allen weiteren Kondensationsversuchen, wiewohl man sie einem Druck von mehreren tausend Atmosphären aussetzte. Nachdem aber Andrews (1870) gefunden hatte, daß ein Gas überhaupt nur unterhalb einer bestimmten Grenztemperatur (der kritischen) in den flüssigen Zustand übergeführt werden kann, gelang es (1877) den beiden Forschern Cailletet in Frankreich und Pictet in Genf, die Temperatur soweit zu erniedrigen, daß auch die bis dahin nicht kondensierten

[ſi]e bei ſtarkem Drucke flüſſig wurden. Sie erreichten eine ſolche Kälte durch ſehr beſchleunigte und [anh]altende Verdampfung von kondenſierten Gaſen, indem ſie die ſich immer neu bildenden Dämpfe [der] ſiedenden Flüſſigkeiten durch fortwährendes Pumpen vermittelſt einer Luftpumpe entfernten und [d]urch die Verdunſtungskälte (§. 241) auf das höchſte ſteigerten. — Dieſe Verſuche ſind ſeitdem von [and]eren Phyſikern noch vollſtändiger ausgeführt worden. Dieſelben haben Sauerſtoff, Stickſtoff, Waſſer-[ſtof]f in größerer Menge zu durchſichtigen, waſſerhellen Flüſſigkeiten verdichtet. Durch raſche Ver-[da]mpfung dieſer Flüſſigkeiten im luftleeren Raume vermochten ſie die Temperatur bis unter — 200° [zu] erniedrigen; dabei erſtarrten der Sauerſtoff und der Stickſtoff teilweiſe zu feſten Körpern von [we]ißer Farbe.

Die folgende Tabelle enthält einige Ergebniſſe der über die Verdichtung von Gaſen angeſtellten [Ve]rſuche. Beim Sauerſtoff und Stickſtoff iſt die zuerſt angeführte Temperatur zugleich die kritiſche.

Name des Gaſes.	Wird flüſſig bei einer Temperatur von	und einem Drucke von	Wird feſt bei einer Temperatur von
Schwefelige Säure	0°	1,5 Atm.	—76°
	—10°	1 „	
Ammoniak	0°	4 „	—75°
	—30°	1,1 „	
Kohlenſäure	0°	35 „	—58°
	—80°	1 „	
Sauerſtoff	—119°	51 „	—214°
	—184°	1 „	
Stickſtoff	—146°	35 „	—203°
	—193°	1 „	

§. 240. Vom Sieden. Die Unterſuchungen der vorhergehenden Paragraphen [g]eben uns auch Aufſchluß über die Erſcheinung des Siedens. Solange die Temperatur [e]iner Flüſſigkeit die ihres Siedepunktes noch nicht erreicht hat, können im Innern [d]erſelben ſich keine Dämpfe bilden, weil die Spannkraft derſelben weniger als 76 cm [b]eträgt. Eine in der Flüſſigkeit etwa entſtehende Dampfblaſe müßte durch den auf [d]erſelben laſtenden Druck der Atmoſphäre ſogleich wieder zu tropfbarer Flüſſigkeit ver-[d]ichtet werden. Anders verhält es ſich jedoch an der Oberfläche der Flüſſigkeit, wo die [D]ämpfe ſich mit der atmoſphäriſchen Luft vermiſchen und alſo nicht mehr allein, [ſo]ndern mit Gaſen vermiſcht, den auf ihnen laſtenden Druck der Atmoſphäre tragen.

Wenn eine Flüſſigkeit bis zur Temperatur des Siedepunktes erwärmt iſt, ſo [ve]rmögen die Dämpfe derſelben allein den Druck der Atmoſphäre auszuhalten und [kö]nnen ſich daher auch im Innern der Flüſſigkeit bilden. Das **Eigentümliche [de]s Siedens beſteht alſo erſtens darin, daß alle der Flüſſigkeit zu-[ge]führte Wärme zur Dampfbildung verwandt wird und zweitens darin, [da]ß die Dämpfe ſich nicht bloß an der Oberfläche, ſondern auch im [I]nnern der Flüſſigkeit bilden.**

Da eine Flüſſigkeit bei derjenigen Temperatur ſiedet, bei welcher die Dämpfe [de]rſelben den auf der Flüſſigkeit laſtenden Luftdruck auszuhalten vermögen, ſo muß [die]ſelbe bei einer um ſo niedrigeren Temperatur ſieden, je geringer die Größe dieſes [Dr]uckes iſt. (So folgt z. B. aus der S. 403 aufgeführten Tabelle, daß das Waſſer [bei] einem Luftdrucke von 52,5 cm, 35,4 cm, 23,3 cm u. ſ. w. ſchon bei 90°, 80°,

§. 239. Kondensation der Gase. Manche Luftarten behalten die luftförmige Gestalt nur bei höherer Temperatur oder geringem äußeren Druck; bei Verminderung der Wärme oder Verstärkung des Druckes kehren sie bald in den flüssigen Zustand zurück, in welchem sie sich uns am häufigsten zeigen, wie z. B. Wasser, Spiritus, Äther u. dgl. Solche Luftarten bezeichnet man gewöhnlich als Dämpfe, während diejenigen Luftarten, welche bei gewöhnlicher Temperatur und mäßigem Druck luftförmig bleiben, wie z. B. atmosphärische Luft, Leuchtgas, Kohlensäure, Gase im engeren Sinne genannt werden. Zwischen den Dämpfen und den Gasen findet hiernach kein absoluter, sondern nur ein relativer Unterschied statt, da alle Gase in den flüssigen Zustand übergehen, wenn sie nur einer hinreichend niedrigen Temperatur und einem hinreichend starken Druck ausgesetzt werden.

Nimmt die Temperatur eines Gases ab, so vermindert sich gleichzeitig der Druck, welcher zur Verflüssigung erforderlich ist. Bei einer hinreichend tiefen, für verschiedene Gase sehr verschiedenen Temperatur gehen alle Gase schon unter einem Drucke, welcher dem gewöhnlichen Luftdrucke (1 Atmosphäre) gleich ist, in den flüssigen Zustand über. — Andererseits giebt es für jedes Gas eine gewisse höchste Temperatur, oberhalb welcher dasselbe überhaupt nicht zu einer Flüssigkeit verdichtet werden kann. Man bezeichnet dieselbe als die kritische Temperatur des Gases. Sie beträgt z. B. für Kohlensäure 31°. Hat Kohlensäure eine höhere Temperatur, so läßt sich dieselbe auch bei Anwendung des stärksten Druckes nicht in den flüssigen Zustand überführen.

Einige Gase, z. B. schwefelige Säure, lassen sich schon bei gewöhnlichem Luftdruck mit Hülfe einer Kältemischung (z. B. von Kochsalz und Schnee, §. 236) verflüssigen. Man leitet die Gase zu dem Zweck durch Gefäße, welche von der Kältemischung umgeben sind.

Um Gase durch Druck zu verdichten, bedient man sich am bequemsten einer Kompressionspumpe (§. 71). — Die Verdichtung von Gasen, welche erst unter Anwendung eines sehr starken Druckes flüssig werden, wie z. B. Kohlensäure, welche bei 13° einen Druck von beinahe 50 Atmosphären erfordert, geschieht gewöhnlich in dickwandigen, schmiedeeisernen Flaschen, welche auf eine genügende Festigkeit geprüft sind. In eine solche Flasche wird das Gas vermittelst einer starken Kompressionspumpe hineingepreßt, während die Flasche gleichzeitig von einer Kältemischung umgeben ist.

Auf die angegebene Weise kann Kohlensäure zu einer farblosen, äußerst flüchtigen Flüssigkeit verdichtet werden, welche an freier Luft schon bei —80° siedet. Dieselbe erzeugt beim Ausströmen aus der Öffnung des Gefäßes durch teilweise Verdunstung eine solche Kälte, daß ein anderer Teil der Flüssigkeit unter den Gefrierpunkt abgekühlt und in den festen Zustand übergeführt wird, in welchem derselbe ein dem Schnee ähnliches Aussehen zeigt. Dieser Kohlensäureschnee besitzt an freier Luft eine Temperatur von —70° und hält sich längere Zeit, da er ein schlechter Wärmeleiter ist. Quecksilber erstarrt in demselben sehr leicht zu einer festen Masse. — Die flüssige Kohlensäure findet seit einigen Jahren mehrfache Verwendung im großen, z. B. zur Herstellung von künstlichem Selterswasser, sowie zur Erzeugung von künstlicher Kälte.

Entscheidende Versuche über die Kondensation von Gasen sind zuerst von dem Engländer Faraday (1823) angestellt worden. In einer Mischung von fester Kohlensäure mit Äther erzeugte er durch Verdampfung im luftleeren Raume eine Kälte von ungefähr —110°; doch waren seine Versuche bei einigen Gasen, wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff erfolglos. Diese Gase widerstanden bis vor wenigen Jahren allen weiteren Kondensationsversuchen, wiewohl man sie einem Drucke von mehreren tausend Atmosphären aussetzte. Nachdem aber Andrews (1870) gefunden hatte, daß ein Gas überhaupt nur unterhalb einer bestimmten Grenztemperatur (der kritischen) in den flüssigen Zustand übergeführt werden kann, gelang es (1877) den beiden Forschern Cailletet in Frankreich und Pictet in Genf, die Temperatur soweit zu erniedrigen, daß auch die bis dahin nicht kondensierten

bei starkem Drucke flüssig wurden. Sie erreichten eine solche Kälte durch sehr beschleunigte und ende Verdampfung von kondensierten Gasen, indem sie die sich immer neu bildenden Dämpfe enden Flüssigkeiten durch fortwährendes Pumpen vermittelst einer Luftpumpe entfernten und die Verdunstungskälte (§. 241) auf das höchste steigerten. — Diese Versuche sind seitdem von n Physikern noch vollständiger ausgeführt worden. Dieselben haben Sauerstoff, Stickstoff, Wasser- n größerer Menge zu durchsichtigen, wasserhellen Flüssigkeiten verdichtet. Durch rasche Ver- ung dieser Flüssigkeiten im luftleeren Raume vermochten sie die Temperatur bis unter — 200° iedrigen; dabei erstarrten der Sauerstoff und der Stickstoff teilweise zu festen Körpern von Farbe.

Die folgende Tabelle enthält einige Ergebnisse der über die Verdichtung von Gasen angestellten he. Beim Sauerstoff und Stickstoff ist die zuerst angeführte Temperatur zugleich die kritische.

Name des Gases.	Wird flüssig bei einer Temperatur von	und einem Drucke von	Wird fest bei einer Temperatur von
Schwefelige Säure	0°	1,5 Atm.	—76°
	—10°	1 "	
Ammoniak	0°	4 "	—75°
	—30°	1,1 "	
Kohlensäure	0°	35 "	—58°
	—80°	1 "	
Sauerstoff	—119°	51 "	—214°
	—184°	1 "	
Stickstoff	—146°	35 "	—203°
	—193°	1 "	

§. 240. **Vom Sieden.** Die Untersuchungen der vorhergehenden Paragraphen uns auch Aufschluß über die Erscheinung des Siedens. Solange die Temperatur Flüssigkeit die ihres Siedepunktes noch nicht erreicht hat, können im Innern lben sich keine Dämpfe bilden, weil die Spannkraft derselben weniger als 76 cm gt. Eine in der Flüssigkeit etwa entstehende Dampfblase müßte durch den auf lben lastenden Druck der Atmosphäre sogleich wieder zu tropfbarer Flüssigkeit ver- t werden. Anders verhält es sich jedoch an der Oberfläche der Flüssigkeit, wo die pfe sich mit der atmosphärischen Luft vermischen und also nicht mehr allein, rn mit Gasen vermischt, den auf ihnen lastenden Druck der Atmosphäre tragen. Wenn eine Flüssigkeit bis zur Temperatur des Siedepunktes erwärmt ist, so ögen die Dämpfe derselben allein den Druck der Atmosphäre auszuhalten und n sich daher auch im Innern der Flüssigkeit bilden. Das Eigentümliche Siedens besteht also erstens darin, daß alle der Flüssigkeit zu- hrte Wärme zur Dampfbildung verwandt wird und zweitens darin, die Dämpfe sich nicht bloß an der Oberfläche, sondern auch im ern der Flüssigkeit bilden.

Da eine Flüssigkeit bei derjenigen Temperatur siedet, bei welcher die Dämpfe lben den auf der Flüssigkeit lastenden Luftdruck auszuhalten vermögen, so muß be bei einer um so niedrigeren Temperatur sieden, je geringer die Größe dieses kes ist. (So folgt z. B. aus der S. 403 aufgeführten Tabelle, daß das Wasser inem Luftdrucke von 52,5 cm, 35,4 cm, 23,3 cm u. s. w. schon bei 90°, 80°,

70° u. s. w. siedet.) Man sieht hieraus, daß der **Siedepunkt** des Wassers und ebenso der jeder anderen Flüssigkeit eigentlich **kein fester Punkt** ist, **sondern** mit **dem Luftdrucke steigt und fällt**, weshalb auch zwei Thermometer nur dann in ihren Angaben unmittelbar übereinstimmen können, wenn ihre Siedepunkte bei gleichem Luftdrucke bestimmt worden sind. Weiter erklärt sich hieraus, warum das Wasser auf hohen Bergen bei niedrigeren Temperaturen siedet, als im Thale, und warum unter dem Recipienten der Luftpumpe bei starker Verdünnung schon lauwarmes Wasser siedet. In einem gänzlich luftleeren Raume würde das Wasser selbst bei 0° sieden.

Da die Temperatur einer **siedenden** Flüssigkeit nicht mehr zunimmt, auch wenn unter derselben das stärkste Feuer angebracht wird, so läßt sich auf hohen Bergen das Wasser in einem offenen Gefäße nicht bis zu der Temperatur erwärmen, bei welcher dasselbe im Thale siedet. So läßt sich z. B. in dem Hospiz auf dem St. Bernhard in einer Höhe von 2500 m in offenen Gefäßen Rindfleisch nicht mehr weich kochen, weil in dieser Höhe der Luftdruck nur noch (ungefähr) 55 cm beträgt, und daher das Wasser schon bei 92° siedet.

Dagegen kann man in einem dicht verschlossenen Gefäße, **Papinschen Topfe**, das Wasser bis zu jeder beliebigen Temperatur erwärmen, indem der Druck der Dämpfe, welche nicht entweichen können, das Sieden der Flüssigkeit verhindert. In demselben kann man Knochen, Hirschhorn, Fischgräten u. a. m. erweichen, welche im siedenden Wasser nicht weich werden. Ein solcher Topf muß jedoch, da mit der zunehmenden Wärme auch die Spannkraft des Dampfes und die Gefahr des Zerspringens sich vergrößert, mit einem **Sicherheitsventile** versehen sein, welches sich von selbst öffnet, wenn die Spannkraft der Dämpfe eine gewisse Grenze überschreitet.

Der Erscheinung des Siedens pflegt ein eigentümliches Geräusch (Simmern) vorauszugehen, welches dadurch entsteht, daß die dem Boden nächsten Wasserschichten durch das unter demselben angebrachte Feuer sich zuerst bis zum Siedepunkte erhitzen und in Dämpfe verwandeln und die emporsteigenden Dampfbläschen, indem sie in die oberen, noch nicht bis zu dieser Temperatur erwärmten Schichten gelangen, sich wieder verdichten.

Wenn Wasser in einem hohen Gefäße siedet, so haben die unteren Schichten eine etwas höhere Temperatur als die oberen, weil die unteren Schichten nicht bloß den Luftdruck erleiden, sondern auch die auf ihnen lastende Wassersäule zu tragen haben.

(Fig. 328.)



Daß das Wasser durch verminderten Druck schon bei sehr mäßigen Temperaturen, welche weit unter 100° liegen, zum Sieden gebracht werden kann, läßt sich auch durch folgenden ebenso lehrreichen als leicht anzustellenden Versuch zeigen. In einem gläsernen Kölbchen wird Wasser bis zum starken Sieden erhitzt, hierauf das Kölbchen vom Feuer abgehoben, rasch verkorkt und umgekehrt. Dann siedet das Wasser in dem Kölbchen noch lange Zeit fort; und das allmählich nachlassende Sieden wird wieder lebhafter, wenn man den oberen, mit Dämpfen gefüllten Teil des Kölbchens mit kaltem Wasser übergießt (Fig. 328). — Auf gleichem Principe beruht der sogenannte **Pulshammer**, eine luftleere gläserne Röhre, in welcher Spiritus schon durch die Wärme der Hand zum Sieden gebracht wird.

Während (unter einem Druck von 76 cm) das Wasser bei 100° siedet, siedet das Quecksilber erst bei 350°, Leinöl bei 315°, dagegen Alkohol schon bei 78°, Schwefeläther bei 36°; die Siedetemperaturen von einigen verflüssigten Gasen sind in der Tabelle des vorigen §. angegeben.

Bei einer Mischung von Wasser und Weingeist liegt der Siedepunkt der Mischung zwischen dem des Wassers und dem des Weingeistes. Sind in einer Flüssigkeit feste Substanzen aufgelöst, so liegt

ihr Siedepunkt höher als der der reinen Flüssigkeit. So siedet Wasser, welches 10, 20, 30, 40 Prozent Kochsalz aufgelöst enthält, erst beziehlich bei $101^1/_2{}^0$, $103^1/_2{}^0$, 106^0, $108^1/_2{}^0$.

So wie wir oben (§. 236) gesehen haben, daß luftfreies, gegen Erschütterung geschütztes Wasser sich, ohne zu erstarren, mehrere Grade unter den Eispunkt abkühlen läßt, ebenso kann dasselbe beträchtlich über den Siedepunkt erwärmt werden, ehe es ans Sieden kommt. Indem dieses dann stoßweise und mit Heftigkeit erfolgt, bildet dasselbe wahrscheinlich eine der Hauptursachen der Dampfkesselexplosionen. — Der Siedeverzug des luftfreien Wassers wird ohne Zweifel durch den Widerstand herbeigeführt, welchen die Anziehung der Moleküle des luftfreien Wassers der Dampfbildung entgegensetzt, während in dem lufthaltigen Wasser dieser Zusammenhang der Moleküle des Wassers durch die zwischen ihnen befindlichen Luftmoleküle schon sehr gelockert ist.

Auf ähnlichem Grunde dürfte die Erscheinung beruhen, daß das siedende (lufthaltige oder luftfreie) Wasser selbst eine etwas höhere Temperatur besitzt als die aus demselben aufsteigenden Dämpfe. Während diese nur den Luftdruck auszuhalten haben, müssen die im Innern des Wassers sich bildenden Dämpfe bei ihrem Entstehen eine so hohe Temperatur haben, daß die dieser entsprechende Spannkraft sie befähigt, nicht bloß den Luftdruck, sondern außerdem auch noch den Druck der oberen Wasserschichten und die Kohäsion der Wassermoleküle zu überwinden. Indem sie nach ihrem Austritte aus dem Wasser nur noch den Luftdruck zu ertragen haben, dehnen sie sich aus, wodurch ihre Temperatur etwas verringert wird (§. 253, b).

In nahem Zusammenhange mit dem eben Angeführten steht auch die Erscheinung, daß Wasser in metallenen Gefäßen bei etwas niedrigerer Temperatur als in gläsernen oder porzellanenen, überhaupt in Gefäßen, an deren Wänden es schwach adhäriert, eher als in denen, an welchen es stark adhäriert, siedet, was darauf beruht, daß die an den Wänden sich bildenden Dämpfe statt der Kohäsion die Adhäsion zu überwinden haben. — Die Temperatur der aus dem siedenden Wasser aufsteigenden Dämpfe ist jedoch bei allen Gefäßen die nämliche, weshalb man bei der Bestimmung des Siedepunktes das Thermometer in die Dämpfe des siedenden Wassers und nicht in dieses selbst eintaucht.

Überraschend ist die Erscheinung, auf welche vorzüglich Leidenfrost (1756) aufmerksam gemacht hat, daß Wasser auf glühende Metallflächen gegossen nicht siedet, sondern sich, wie Quecksilber auf Glas, in Tropfen sammelt, welche auf der Metallplatte rotieren. In einem stark glühenden Tiegel von Silber oder Platin nimmt auch eine größere Menge Wasser, welche man allmählich in denselben schüttet, die sphäroidische Gestalt an. Sowie aber das Metall sich etwas abkühlt, kommt das Wasser in heftiges Sieden und wird nach allen Seiten umhergeschleudert. — Es erklärt sich diese Erscheinung daraus, daß die Wasserkugel ringsum von einer Atmosphäre von Dämpfen umgeben ist, welche, solange die Metallplatte stark erhitzt ist, eine hohe Spannung besitzen und die unmittelbare Berührung der Wasserkugel mit dem glühenden Metall verhindern, was nicht mehr der Fall ist, wenn sich dieses bis zu einem gewissen Punkte abgekühlt hat.

Eine verwandte Erscheinung dürfte auch der zuweilen von Arbeitern in Schmelzhütten ausgeführte Versuch sein, bei welchem dieselben, ohne sich zu verletzen, mit bloßen Füßen über glühendes Metall gehen oder die Hände kurze Zeit in geschmolzenes Metall eintauchen, wobei jedoch, wenn der Versuch keine Gefahr bringen soll, die Temperatur des geschmolzenen oder glühenden Metalles keine zu niedrige sein darf. — Diese auffallenden Versuche finden ihre Erklärung wahrscheinlich darin, daß sich vermöge der starken Ausdünstung der Haut eine dieselbe schützende und die innige Berührung mit dem Metall hindernde Dampfatmosphäre bildet.

Nicht bloß Wasser, sondern auch andere leicht verdampfende Flüssigkeiten, wie Spiritus, Äther, flüssige Kohlensäure, schwefelige Säure u. dgl. m. nehmen in glühenden Metallgefäßen die sphäroidische Gestalt an. Besonders überraschend ist der folgende Versuch. Wenn man in einen glühenden Tiegel von Platin oder Silber flüssige schwefelige Säure gießt und, nachdem diese die sphäroidische Gestalt angenommen hat, Wasser zusetzt, so gefriert das Wasser und läßt sich als Eis aus dem glühenden Tiegel ausschütten. Das Widersprechende dieses Versuches läßt sich dadurch erklären, daß die flüssige schwefelige Säure schon bei -10^0 siedet und folglich auch die Temperatur der sphäroidischen Masse diese Temperatur nicht übersteigt. — Ebenso kann man in einer Mischung aus Schwefeläther und fester Kohlensäure in einem glühenden Platintiegel Quecksilber in kurzer Zeit zum Gefrieren bringen.

§. 241. **Die Verdampfungswärme.** So wie beim Übergange der Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand Wärme gebunden wird, so findet dies in noch viel stärkerem Maße beim Übergange in den luftförmigen Zustand statt. So werden z. B. bei der Verwandlung von Wasser von 100° in Dampf von 100° 536 Wärmeeinheiten gebunden, d. h. dieselbe Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 kg Wasser von 100° in 1 kg Dampf von 100° zu verwandeln, ist imstande, die Temperatur von 536 kg Wasser von 0° bis 1° zu erhöhen. — Diese Wärmemenge wird gefunden, indem man eine abgewogene Menge Wasser in einem Kolben zum Sieden bringt und die entstandenen Dämpfe in ein Gefäß leitet, welches eine größere, ebenfalls abgewogene Menge kalten Wassers enthält, und die Erhöhung der Temperatur beobachtet, welche diese Wassermasse infolge der Kondensation der Dämpfe erleidet. Damit diese möglichst vollständig stattfindet, macht das Rohr in dem Gefäße mehrere schlangenförmige Windungen.

Auch bei dem Sieden anderer Flüssigkeiten und der Umwandlung derselben in Dämpfe wird Wärme gebunden. Die Menge dieser Wärme ist jedoch für verschiedene Flüssigkeiten sehr verschieden (z. B. für Alkohol 214, Schwefeläther 90 Wärmeeinheiten u. dgl. m.).

Die große Menge der Wärme, welche bei der Umwandlung des flüssigen Wassers in luftförmiges gebunden wird, ist im Haushalte der Natur von sehr wichtigem Einflusse. Ohne den beim Verdampfen des Wassers stattfindenden Verbrauch von Wärme würde die Verdunstung des Wassers an der Oberfläche der Erde unvergleichlich rascher erfolgen; ebenso würde ohne die bei der Kondensation der Dämpfe wieder frei werdende Wärme das in der Atmosphäre enthaltene luftförmige Wasser bei einer Temperaturerniedrigung plötzlich in den gewaltigsten und verheerendsten Regengüssen niederstürzen.

Auf dem bei der Dampfbildung stattfindenden Wärmeverbrauche beruht auch das Verfahren, Gefäße kühl zu erhalten, indem man sie mit nassen Tüchern umgiebt, und das Gefühl von Kälte, wenn man aus einem Bade steigt. Ebenso bewirkt die beständige Ausdünstung der Haut, besonders in großer Hitze, eine sehr wohlthätige Abkühlung. Indem mit der Temperatur der Luft, in welcher wir uns befinden, auch die Hautausdünstung und folglich die Menge der gebundenen Wärme zunimmt, wird selbst in der größten Sonnenhitze die Temperatur des Blutes (37°) nicht beträchtlich erhöht.

In heißen Gegenden wird das Wasser in porösen Thongefäßen, durch welche es beständig hindurchsickert, kühl gehalten. — In Ostindien gewinnt man in kühlen Nächten Eis dadurch, daß man ein Feld mit einer dicken Schicht von Stroh bedeckt und auf diese poröse Gefäße mit Wasser stellt, welches sich besonders gegen Morgen, wo sich gewöhnlich ein kühler Wind erhebt, mit einer Eisdecke bekleidet.

Die Verdunstung erfolgt um so rascher und die durch dieselbe bewirkte Kälte ist folglich um so größer, je geringer der Luftdruck ist. Unter dem Recipienten der Luftpumpe können bei starker Verdünnung einige Tropfen Wasser in einem Uhrglase, welches man an der Innenseite stark mit Ruß überzogen hat, der ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, auch im Sommer oder im geheizten Zimmer zum Frieren gebracht werden. Noch leichter gelingt der Versuch, wenn unter dem Schälchen mit Wasser ein Gefäß mit konzentrierter Schwefelsäure aufgestellt ist, welche die gebildeten Wasserdämpfe begierig absorbiert und so die Bildung neuer Dämpfe befördert.

Die große Verdunstungskälte des Wassers zeigt auch der **Kryophor** (κρύος, Eis). Dieser (Fig. 329) besteht aus einer gläsernen Röhre, welche in zwei Kugeln endet, die etwas Wasser enthalten, aber luftleer sind. Bringt man die eine der Kugeln in eine Kälte erregende Mischung (§. 236), z. B. in eine Mischung von Kochsalz und Schnee, so werden die in dieser Kugel enthaltenen Wasserdämpfe kondensiert; infolge hiervon tritt in der anderen, außerhalb der Mischung befindlichen Kugel eine so starke Verdunstung des Wassers ein, daß ein Teil des übrig bleibenden Wassers durch die hiermit verbundene Abkühlung zum Frieren gebracht wird.

(Fig. 329.)

Die Verdunstungskälte ist im allgemeinen um so größer, je niedriger der Siedepunkt der verdunstenden Flüssigkeit liegt. Sie ist daher beim Spiritus und besonders beim Schwefeläther beträchtlicher als beim Wasser. Umgiebt man die Kugel eines Thermometers mit feiner Leinwand, welche man mit Schwefeläther benetzt, und setzt das Thermometer einem starken Luftzuge aus, so fällt dasselbe selbst im heißen Sommer mehrere Grade unter den Eispunkt.

Die höchsten Kältegrade, welche man überhaupt künstlich hervorzubringen vermag, entstehen bei der raschen Verdunstung der zu tropfbaren Flüssigkeiten verdichteten Gase, wie der schwefeligen Säure, der Kohlensäure u. a. m. Durch rasche Verdampfung von flüssiger Kohlensäure im luftleeren Raume läßt sich eine Temperatur erzeugen, welche mehr als 100° unter dem Eispunkte liegt. Die höchsten Grade künstlicher Kälte, welche man neuerdings durch schnelle Verdampfung von Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff im leeren Raume hervorgebracht hat, liegen unter — 200°. (Siehe auch oben §. 239, Anm.)

Die Verdunstungskälte des flüssigen Ammoniaks und der flüssigen Kohlensäure wird in der Technik zur Eisbereitung, z. B. für Bierbrauereien, benutzt.

Die Menge der Wärme, welche beim Übergange des Wassers aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand gebunden wird, ist nicht für alle Temperaturen die nämliche; während dieselbe bei 100° 536 Wärmeeinheiten beträgt, ist sie bei 0° gleich 606, bei 200° gleich 464 Wärmeeinheiten. Es nimmt hiernach die Summe aus der freien und gebundenen Wärme des Dampfes mit der Temperatur desselben zwar zu, aber nach einem bis jetzt noch nicht ermittelten Gesetze.

§. 242. Die Dampfmaschine. Die Dämpfe finden mannigfaltige Anwendungen. Wir beschränken uns hier auf die wichtigste, die **Dampfmaschine**, bei welcher die Spannkraft des Wasserdampfes als bewegende Kraft benutzt wird.

(Fig. 330.)

Um überhaupt zu zeigen, wie durch die Kraft der Dämpfe sich eine regelmäßig wechselnde Bewegung bewirken läßt, kann der folgende einfache Versuch dienen. In einem Gefäße b (Fig. 330), welches in einen cylinderförmigen Hals a ausläuft, in dem sich ein dicht anschließender Kolben c auf und nieder bewegen läßt, wird Wasser erhitzt. So wie das Wasser die Siedehitze erreicht hat, treiben die sich entwickelnden Dämpfe den Kolben c gegen den Luftdruck in der cylinderförmigen Röhre empor. Taucht man dann das Gefäß b in kaltes Wasser, so kondensieren sich die Dämpfe wieder, der äußere Luftdruck bekommt das Übergewicht und treibt den Kolben nieder. — Was dieser Versuch im kleinen zeigt, macht im wesentlichen das Princip der Dampfmaschine im großen.

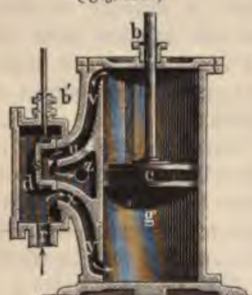
Zu den wichtigsten Teilen einer Dampfmaschine gehört zunächst der **Kessel**, in welchem der Dampf entwickelt wird,

ferner der Cylinder, in welchem der Dampf einen luftdicht anschließenden Kolben hin- und herbewegt. Die Fig. 331 und 332 zeigen einen Dampfcylinder g im Durchschnitt. Die Bewegung des Kolbens c wird vermittelst einer Stange, welche durch die Stopfbüchse b luftdicht hindurch geht, nach außen übertragen.

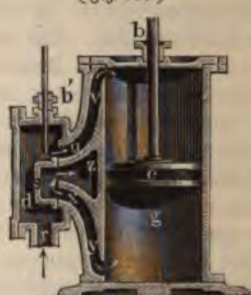
Eine besondere Vorrichtung, die **Steuerung** der Maschine, bewirkt, daß der Dampf bald auf der einen, bald auf der anderen Seite des Kolbens in den Cylinder eintritt. Am gebräuchlichsten ist die **Schiebersteuerung** (Fig. 331 u. 332).

Aus der an der Seite des Cylinders gelegenen Dampfkammer d führen in das Innere desselben zwei Kanäle, von denen der eine uv oben, der andere xy unten

(Fig. 331.)



(Fig. 332.)



einmündet. Diese beiden Kanäle lassen sich abwechselnd öffnen und schließen, indem in der Dampfkammer ein ausgehöhlter Schieber s vermittelst einer Stange, welche durch die Stopfbüchse b′ luftdicht hindurchgeht, auf und nieder bewegt wird.

Nimmt der Schieber seinen höchsten Stand ein (Fig. 331), so gelangt der Dampf, welcher aus dem Kessel durch das Rohr r in die Kammer einströmt, durch den Kanal xy in den unteren Raum des Cylinders und treibt den Kolben empor. Zugleich kann der Dampf, welcher in dem oberen Raume des Cylinders enthalten ist, durch den Kanal uv in die Höhlung des Schiebers und von dort weiter durch das Rohr z entweichen. — Hat dagegen der Schieber seinen tiefsten Stand (Fig. 332), so strömt der Dampf durch den Kanal uv in den oberen Raum des Cylinders und drückt den Kolben nieder, während der unter dem Kolben befindliche Dampf durch den Kanal xy und das Rohr z wieder austritt.

Der aus dem Cylinder abströmende Dampf entweicht bei einer Art von Maschinen, wie z. B. bei den Lokomotiven, in die freie Luft, bei einer anderen Art dagegen in einen großen, geschlossenen und luftleeren Behälter, den **Kondensator**, in welchem er durch beständiges Einspritzen von kaltem Wasser wieder in den flüssigen Zustand übergeführt wird. Hiernach sind zwei Hauptgruppen von Dampfmaschinen zu unterscheiden, solche **mit** Kondensation und solche **ohne** Kondensation.

Arbeitet eine Maschine ohne Kondensator, so hat der Dampf bei der Fortbewegung des Kolbens stets den Gegendruck, welchen die atmosphärische Luft von der anderen Seite her auf den Kolben ausübt, zu überwinden. Wird aber der abströmende Dampf in einem Kondensator verdichtet, so fällt ein solcher Gegendruck fast ganz fort, da der Kondensator (nahezu) luftleer ist und die Spannkraft des

Dampfes mit der Temperatur sehr rasch abnimmt. Für Maschinen mit Kondensation enügt deswegen schon Dampf von geringer Spannung (unter 2 Atmosphären); für Naschinen ohne Kondensator ist dagegen Dampf von höherer Spannung erforderlich. Naschinen, welche mit Dampf von geringer Spannung arbeiten, bezeichnet man ls **Niederdruckmaschinen**, solche, welche Dampf von hoher Spannung benutzen, ls **Hochdruckmaschinen**. Die ersteren bedürfen stets eines Kondensators, bei den tzteren kann derselbe dagegen fehlen.

Durch die Bewegung der Kolbenstange wird bei den meisten Dampfmaschinen ine starke Welle in Drehung versetzt. Gewöhnlich trägt dann die Welle ein großes, chweres Rad, das **Schwungrad**, welches die Bestimmung hat, durch die Trägheit einer Masse den Gang der Maschine gleichmäßig zu erhalten.

In Fig. 333 ist eine Hochdruckmaschine abgebildet. Die Bewegung des Kolbens c überträgt sich auf die Schwungradwelle w, indem die Kolbenstange durch Vermittelung einer Stange p, der **Pleuelstange**, auf die an der Welle befestigte Kurbel k drehend einwirkt. — Damit die seitliche Bewegung, welche die Pleuelstange bei Drehung der Kurbel ausführen muß, nicht auf die Kolbenstange übergeht, und so die Stopfbüchse des Cylinders Schaden leidet, ist an der Kolbenstange ein Querstück q q angebracht, welches durch zwei feste Leitstangen, von denen in der Figur nur eine l gezeichnet ist, in senkrechter Richtung geführt wird.

Die Bewegung des Schiebers s wird durch die Maschine selbst vermittelst des auf der Welle des Schwungrades befestigten **Excenters** e besorgt. Dasselbe besteht aus einer kreisförmigen Scheibe, deren Mittelpunkt außerhalb der Drehungsachse der Welle fällt. (Bei der in der Figur abgebildeten Stellung liegt der Mittelpunkt senkrecht unter der Drehungsachse.) Diese excentrische Scheibe ist von einem Ringe umschlossen, innerhalb dessen sie sich frei drehen kann; von dem Ringe aber geht eine Stange f aus, welche mit der Schieberstange in Verbindung steht. Indem nun bei jeder Umdrehung der Welle der Mittelpunkt der Scheibe um die Drehungsachse einen Kreis beschreibt, wird der umschließende Ring und damit zugleich der Schieber abwechselnd gehoben und gesenkt.

Beachten wir ferner noch folgendes: In der Figur nimmt der Schieber bei mittlerer Stellung des Kolbens seinen tiefsten Stand ein. Es rührt dies daher, daß die Kurbel eine wagerechte Richtung (nach rechts) hat, während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe senkrecht unter der Drehungsachse liegt. Die Scheibe ist also so an der Welle befestigt, daß die Verbindungslinie ihres Mittelpunktes mit der Drehungsachse und die Richtung der Kurbel senkrecht zu einander stehen. Hieraus ergiebt sich leicht, welche Lage der Schieber bei anderen Stellungen des Kolbens hat. Ist insbesondere der Kolben auf seinen tiefsten Stand gekommen, die Kurbel also senkrecht abwärts gerichtet, so liegt der Mittelpunkt der Scheibe, welcher beim Niedergange des Kolbens auf der linken Seite der Achse emporsteigt, mit dieser in gleicher Höhe; der Schieber hat demnach seine mittlere Stellung. In dieser sperrt er beide Dampfkanäle ab. — Dieselbe Stellung nimmt der Schieber wiederum ein, wenn der Kolben seinen höchsten Stand erreicht hat, die Kurbel also senkrecht aufwärts gerichtet ist.

In den beiden angegebenen Stellungen, bei welchen gar kein Dampf in den Cylinder einströmt, vermag übrigens auch der stärkste Druck auf den Kolben keine Drehung zu bewirken. Da nämlich ann die Kurbel senkrecht abwärts oder aufwärts gerichtet ist, also mit der Pleuelstange in einer geraden inie liegt, so geht ein auf den Kolben ausgeübter Druck durch die Achse der Kurbel, wird mithin urch die Festigkeit dieser Achse aufgehoben. Hat die Kurbel eine der bezeichneten Lagen, so befindet ch die Maschine, wie man sagt, auf dem **toten Punkte**. Sie würde stille stehen, hülfe jetzt nicht ie Trägheit des Schwungrades aus. Da dieses aber die einmal erlangte Bewegung noch beibehält, so ht auch die Drehung weiter; Pleuelstange und Kurbel bilden wieder einen Winkel. Der Dampf nn von neuem drehend wirken.

Das Schwungrad, welches nach dem Vorstehenden die Maschine in den Stand setzt, die toten unkte zu überwinden, hat überhaupt den Zweck, kleinere und insbesondere plötzliche Unregelmäßigkeiten

im Gange der Maschine zu verhüten. — Andererseits muß naturgemäß auch die Umdrehungsgeschwindigkeit des Schwungrades stetig wachsen, wenn sich die Widerstände, welche die Maschine bei einer Arbeit zu überwinden hat, bei gleichmäßigem Zuströmen des Dampfes andauernd vermindern.

Um einen zu raschen Gang, sowie überhaupt größere Unregelmäßigkeiten der Bewegung zu verhindern, dient eine besondere Vorrichtung, der **Centrifugalregulator**, welcher den Zufluß des Dampfes vermindert, sobald die Umdrehungsgeschwindigkeit eine gewisse Grenze überschreitet. Es befindet sich nämlich in dem Dampfrohre bei o eine drehbare Scheibe, die **Drosselklappe**, durch welche das Rohr teilweise oder ganz geschlossen werden kann. Dieser Klappe giebt die Maschine selbst die jedesmal passende Stellung. Zu dem Zweck ist (oberhalb der Welle) eine senkrechte, in einem Lager drehbare Stange a angebracht, welche oben zwei bewegliche, in schwere Kugeln endigende Arme trägt und vermittelst zweier konischen Räder r und r' in Drehung versetzt wird, sobald die Schwungradwelle sich dreht. Mit zunehmender Geschwindigkeit wächst nun die Centrifugalkraft (§. 42, a) in den Kugeln so bedeutend an, daß sie auseinander getrieben werden, und daß infolgedessen die beweglichen Arme sich heben. Dabei ziehen die letzteren vermittelst zweier Verbindungsstangen eine an der Achse verschiebbare Hülse h empor, wodurch vermittelst der Hebelvorrichtung mno die Drosselklappe so gedreht wird, daß sie den Dampf teilweise oder ganz absperrt.

Als Nebenapparat der Maschine ist noch die **Speisepumpe** i zu erwähnen, welche dem Kessel für das verbrauchte Wasser neues zuführt und vermittelst einer excentrischen Scheibe getrieben wird. — An einer Maschine mit Kondensator ist außerdem noch eine **Kaltwasserpumpe** vorhanden, durch welche beständig kaltes Wasser in den Kondensator eingespritzt wird; ferner eine **Warmwasserpumpe**, welche das warme Wasser des Kondensators herausschafft und der Speisepumpe zuführt.

Diese drei Pumpen werden bei einer Niederdruckmaschine gewöhnlich mit Hilfe eines großen, einem gewaltigen Wagebalken vergleichbaren Hebels, des **Balanciers**, an welchen die Pumpenstangen angehängt sind, getrieben. Der Balancier überträgt dann zugleich die Bewegung der Kolbenstange auf die Schwungradwelle, indem die erstere nicht unmittelbar mit der Pleuelstange verbunden, sondern an dem einen Ende des Balanciers befestigt ist, während die Pleuelstange an dem anderen Ende hängt.

Zu den Nebenapparaten des Dampfkessels gehört ferner noch ein **Manometer**, eine Vorrichtung, durch welche die Spannung des Dampfes gemessen wird; sodann ein **Sicherheitsventil**, welches dem Dampfe einen Abzug gestattet, wenn der Druck desselben den Kessel zu sprengen droht; schließlich ein **Wasserstandszeiger**, durch welchen die Höhe des Wassers im Kessel angegeben wird.

In den Maschinen mit Kondensator wird die Dampfkraft offenbar besser ausgenutzt als in den Maschinen ohne Kondensator; die letzteren bieten dagegen den Vorteil, daß sie einen kleineren Raum einnehmen und einfacher eingerichtet sind.

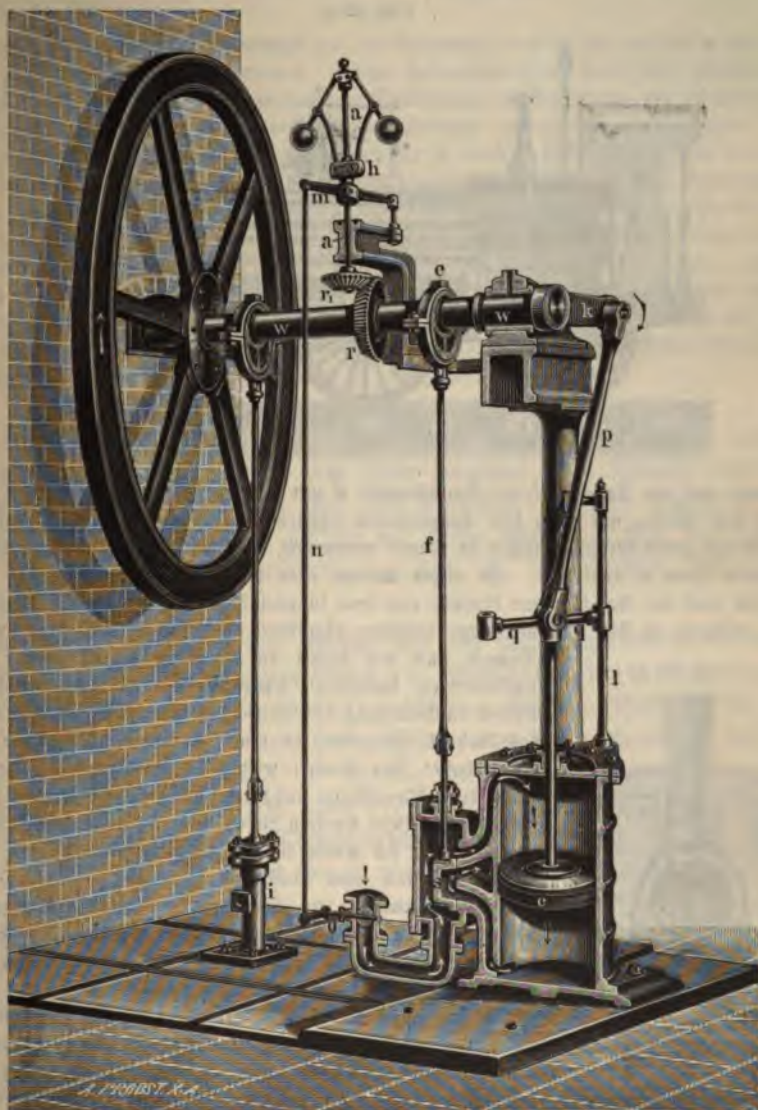
Niederdruckmaschinen arbeiten mit Dampf von 1—2 Atmosphären (§. 60, Anm.) Spannung; bei Hochdruckmaschinen kann die Dampfspannung bis zu 10 Atmosphären betragen; Maschinen, in welchen der Dampf eine Spannung von 2—4 Atmosphären hat, bezeichnet man auch als Mitteldruckmaschinen.

Der theoretische Effekt einer Dampfmaschine wächst offenbar in gleichem Verhältnisse mit der Größe der Kolbenfläche und dem Drucke des Dampfes. (Dabei ist bei Maschinen ohne Kondensator nur der Überdruck des Dampfes über den Druck der äußeren Luft (1 Atm.) in Rechnung zu ziehen.) Ein großer Teil dieser Arbeit geht aber durch die Reibung verloren, ein anderer wird auf die Steuerung und die Bewegung der Pumpen verwandt. Der gesamte Verlust kann bis zu 50% steigen. — Man drückt die Leistungen einer Maschine gewöhnlich in Pferdekräften aus. (Vergl. §. 44, a, Anm.)

Bei der oben abgebildeten Maschine wird der Zutritt des Dampfes für jeden Kolbenhub erst unterbrochen, wenn der Kolben seinen höchsten oder tiefsten Stand erreicht hat. Bei sehr vielen Maschinen findet die Absperrung des Dampfes schon früher statt. Es giebt z. B. Maschinen, bei denen der Dampf abgesperrt wird, wenn der Kolben erst $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ seines Weges zurückgelegt hat. Der Dampf treibt auch dann noch vermöge seiner Ausdehnungskraft oder Expansion den Kolben weiter, wenn auch infolge der Ausdehnung mit abnehm[illegible] Man unterscheidet hiernach Maschinen ohne Expansion und solche mit Expa[illegible] arbeiten vorteilhafter, da sie die Dampfkraft besser ausnutzen.

Der oben beschriebene Versuch (Fig. 330) ist schon von Papin 1687 angestellt worden; die er
ampfmaschine aber, bei welcher ein Kolben durch die Kraft des Dampfes gehoben wurde, ist nach de
rch diesen Versuch dargestellten Principe 1705 von Newkomen in England konstruiert worde
ei diesen Maschinen wurde jedoch der Kolben durch die Dämpfe nur empor-, durch den Druck d

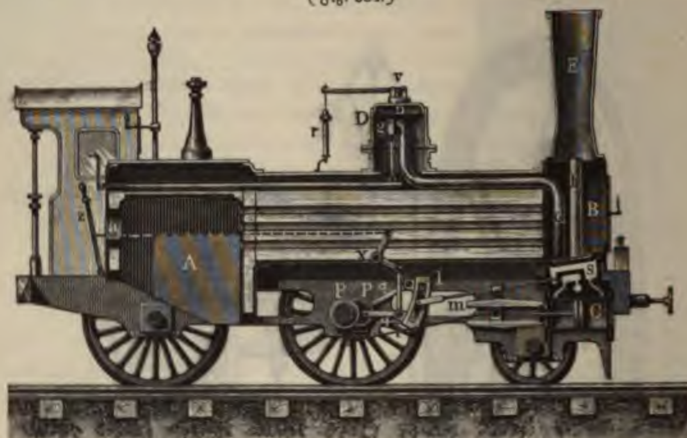
(Fig. 333.)



tmosphäre aber niedergetrieben, weshalb dieselben auch atmosphärische genannt wurden. Die Dämp
urden unmittelbar im Cylinder selbst durch in denselben eingespritztes Wasser kondensiert. I
ahre 1765 konstruierte Watt in England die erste Dampfmaschine mit einem besonderen Kondensat
d der *Einrichtung*, welche dieselbe noch gegenwärtig im wesentlichen hat.

Fig. 334 stellt einen Längs-, Fig. 335 einen Querdurchschnitt einer **Lokomotive** dar. Die Einrichtung derselben ist im wesentlichen folgende: Der Feuerraum A befindet sich ganz innerhalb eines großen mit Wasser angefüllten Kastens, des Dampfkessels, und ist ganz mit Wasser umgeben, mit Ausnahme der Stelle a, wo sich eine Thür zur Einbringung des Brennmaterials befindet. Die hellere Schattierung in Fig. 334 zeigt den Stand des Wassers in dem Dampfkessel an. Aus dem Feuerraume A leitet eine Menge Sieteröhren*), deren Lage die Fig. 335 noch deutlicher zeigt,

(Fig. 334.)



die Flamme und den Rauch nach der Rauchkammer B und von da in den Schornstein E. Da auf diese Art das Wasser mit einer sehr ausgedehnten erhitzten Metallfläche in Berührung kommt, so wird rasch eine große Menge desselben in Dampf verwandelt, welcher sich in den oberhalb des Kastens angebrachten Dom D ausbreitet. In diesen mündet oben bei g eine Röhre, die sich durch den Dampfkessel nach der Rauchkammer hinzieht und dort in zwei Arme dd teilt, welche Fig. 335 beide darstellt, während in Fig. 334 nur einer derselben abgebildet ist. Durch dieses Rohr werden die Dämpfe nach den beiden an der Seite der Lokomotive liegenden Cylindern CC fortgeleitet, setzen hier die in denselben befindlichen Kolben in Bewegung und entweichen dann aus den Cylindern durch das Rohr h (Fig. 334) in den Schornstein, wodurch in demselben ein lebhafter Zug bewirkt wird. Die Bewegung der Kolben wird weiter durch Pleuelstange und Kurbel auf die Triebräder der Lokomotive übertragen. Beide Kurbeln stehen senkrecht aufeinander, so daß die eine Maschine sich gerade in ihrem Kraftpunkte befindet, wenn die andere auf ihrem toten Punkte angelangt ist.

(Fig. 335.)

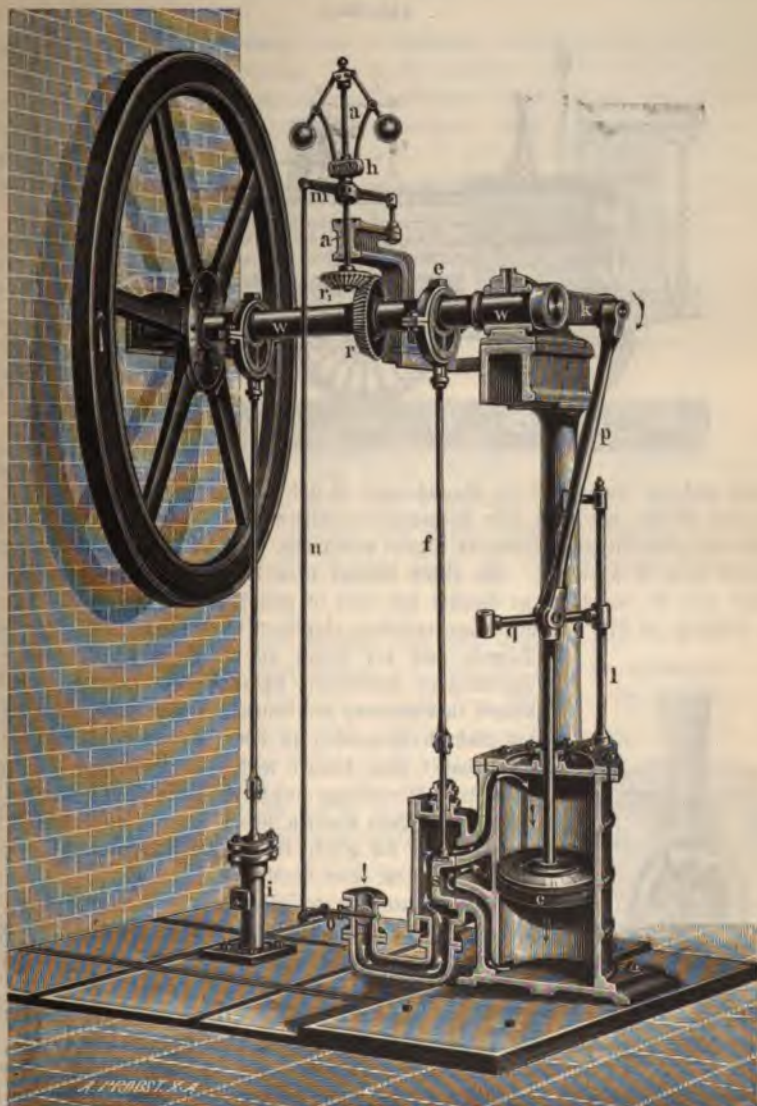


Die Einrichtung der Steuerung s ist die schon oben bei der festliegenden Dampfmaschine beschriebene. — Besondere Erwähnung verdient noch diejenige Vorrichtung, welche die Maschine in den Stand setzt, sowohl vorwärts wie rückwärts zu fahren. Zu diesem Zwecke sind auf der Welle des Triebrades unmittelbar hintereinander zwei excentrische Scheiben PP angebracht, welche in ihrem Gange um 180° differieren. Die an den Ringen dieser Scheiben befestigten Stangen qq sind an ihren Enden durch zwei gebogene Eisenschienen ll verbunden, welche zwischen sich das Ende der Schieberstange m als Gleitstück einfassen. Durch einen Winkelhebel xx kann die ganze Vorrichtung, die sogenannte Coulisse, gehoben oder gesenkt und dadurch die Steuerung nach Willkür der einen oder andern excentrischen Scheibe übertragen werden.

*) In Fig. 334 sind der Übersichtlichkeit halber nur 3 solcher Röhren eingezeichnet.

Der oben beschriebene Versuch (Fig. 330) ist schon von Papin 1687 angestellt worden; die erste ampfmaschine aber, bei welcher ein Kolben durch die Kraft des Dampfes gehoben wurde, ist nach dem rch diesen Versuch dargestellten Principe 1705 von Newkomen in England konstruiert worden. ei diesen Maschinen wurde jedoch der Kolben durch die Dämpfe nur empor-, durch den Druck der

(Fig. 333.)



nosphäre aber niedergetrieben, weshalb dieselben auch atmosphärische genannt wurden. Die Dämpfe rden unmittelbar im Cylinder selbst durch in denselben eingespritztes Wasser kondensiert. Im hre 1765 konstruierte Watt in England die erste Dampfmaschine mit einem besonderen Kondensator der Einrichtung, welche dieselbe noch gegenwärtig im wesentlichen hat.

welchem die in dem Raume vorhandenen Dämpfe denselben sättigen würden. Dieser Punkt, unter welchen die Temperatur eines Raumes nicht erniedrigt werden darf, ohne daß ein Niederschlag eines Teiles der vorhandenen Dämpfe erfolgt, wird der **Taupunkt** genannt.

Wenn man in einen Raum, in welchem sich Dämpfe befinden, einen Körper bringt, dessen Temperatur unter dem Taupunkte liegt, so schlagen sich die mit dem kälteren Körper in Berührung kommenden und hierdurch abgekühlten Dämpfe an demselben nieder. Auf diese Art kann man sich leicht überzeugen, daß in der atmosphärischen Luft jederzeit Dämpfe vorhanden sind. Ebenso beruht hierauf das Betauen der durch die äußere Luft abgekühlten Fensterscheiben eines erwärmten Zimmers zur Herbst- oder Winterszeit, ferner das sogenannte Schwitzen der Steine, wenn nach vorhergegangener kälterer Witterung wärmere Witterung eintritt und die Steine noch nicht die Temperatur der wärmeren Luft angenommen haben, u. dgl. m.

Man unterscheidet in der Physik zwischen **absoluter** und **relativer Feuchtigkeit**, indem man unter ersterer die Menge der in einem Raume vorhandenen Dämpfe, unter letzterer das Verhältnis zwischen der Menge der wirklich vorhandenen Dämpfe und der Menge der Dämpfe versteht, welche der Raum bei der stattfindenden Temperatur überhaupt zu fassen vermag.

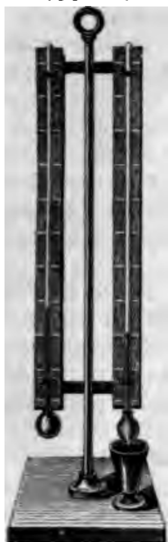
Die Verdunstung des Wassers, das Wachstum der Pflanzen, das Wohlsein der Tiere und der Menschen hängt nicht so sehr von der absoluten und relativen Feuchtigkeit, als von der **Trockenheit** der Luft ab, wenn wir unter der Trockenheit der Luft die Menge der Dämpfe verstehen, welche derselben zur Sättigung noch fehlen. Demgemäß nennen wir auch im gewöhnlichen Leben die Luft trocken oder feucht, je nachdem die **fehlende** Menge groß oder klein ist. — Die Luft ist natürlich am feuchtesten, wenn sie mit Dämpfen gesättigt ist; die geringste Abkühlung bewirkt dann schon einen Niederschlag. — Bei gleichem absoluten Feuchtigkeitsgehalte an einem kalten Wintertage und einem warmen Sommertage kann die Luft an ersterem nahezu oder vollständig mit Dämpfen gesättigt, an dem letzteren wegen der hohen Temperatur weit von der Sättigung entfernt sein, so daß wir dieselbe Luft an dem Wintertage als sehr feucht, an dem Sommertage als trocken bezeichnen. Haben zwei Tage gleiche relative Feuchtigkeit, ist aber an dem einen die Luft erheblich wärmer als an dem andern, so erfolgt an dem ersteren wegen der größeren Trockenheit der Luft die Verdunstung bei weitem rascher als an dem letzteren. — Die Verdunstung hängt übrigens nicht bloß von der Temperatur des verdunstenden Wassers und der Trockenheit der Luft, sondern auch von der Stärke des Windes ab, durch welchen an die Stelle der über der Oberfläche des Wassers liegenden feuchteren Luftschichten trocknere geführt werden.

Um die Größe der täglichen oder jährlichen Verdunstung zu finden, stellt man im Freien Gefäße mit Wasser, welche man durch ein in einiger Höhe angebrachtes Dach gegen den Regen schützt (**Atmometer**), auf und beobachtet, um wie viel sich das Wasser infolge der Verdunstung vermindert. Diese Instrumente können jedoch aus bald einleuchtenden Gründen nur ein sehr ungenaues Maß der Größe der an der Erdoberfläche wirklich stattfindenden Verdunstung geben.

§. 244. Hygrometrie. Um den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu ermitteln, sind Instrumente von sehr verschiedener Einrichtung, welchen man im allgemeinen den Namen **Hygrometer** giebt, erfunden worden. Das gegenwärtig gebräuchlichste ist ein Instrument, welches den besonderen Namen **Psychrometer** führt. Dasselbe besteht aus zwei genau übereinstimmenden, neben einander aufgehängten Thermometern (Fig. 336), bei welchen die Kugel des einen mit Musselin umwickelt ist, der in ein unmittelbar darunter stehendes [illegible] Wasser reicht und hierdurch beständig

feucht erhalten wird. Von diesen beiden Thermometern zeigt das trockene die Temperatur der Luft an; das andere aber, dessen Kugel mit feuchtem Musselin umwickelt ist, muß infolge der durch die Verdunstung des Wassers herbeigeführten Wärmebindung etwas niedriger stehen.*) Je trockener die Luft ist, um so rascher muß die Verdunstung geschehen und um so größer auch die hierdurch bewirkte Abkühlung sein. Umgekehrt wird man daher auch aus dem verschiedenen Stande des trockenen und des angefeuchteten Thermometers auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft schließen und denselben mit Hilfe besonders zu diesem Zwecke berechneter Tabellen bestimmen können. — Da die Schnelligkeit der Verdunstung nicht bloß von der Trockenheit der Luft, sondern auch von der Stärke des Windes abhängt, so muß man das Psychrometer im Freien an einem gegen starken Luftzug geschützten Orte unter künstlicher Erregung eines mäßigen Luftzuges beobachten.

(Fig. 336.)



Durch hygrometrische Beobachtungen hat man gefunden, daß der absolute Feuchtigkeitsgehalt am Tage größer als in der Nacht und im Sommer größer als im Winter ist, was sich leicht aus der Wirkung der Sonnenstrahlen erklärt. Dagegen ist die Luft einige Stunden nach Mittag (zur Zeit der größten Tageswärme) und im Mai relativ am trockensten und des Morgens vor Sonnenaufgang und gegen Ende Dezember relativ am feuchtesten.

Für Berlin beträgt die mittlere jährliche Spannung des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes etwa 6,6 mm. Sie ist im Januar am kleinsten, nämlich = 3,9 mm; im Juli aber am größten, ungefähr = 10,7 mm.

Im östlichen Europa, besonders aber in Sibirien und im östlichen Nordamerika, ist die Luft bei weitem trockener und der Himmel heiterer als im westlichen Europa, was seinen Grund in dem (§. 235 erwähnten) Vorwalten der westlichen Winde hat, welche dem westlichen Europa die feuchte Seeluft unmittelbar zuführen, während diese zu den vorher genannten Ländern erst gelangt, nachdem sie ihren Lauf über weite Strecken festen Landes genommen hat. Die Regenmenge und die Zahl der Regentage ist bei gleicher Jahreswärme in Amerika nicht geringer als in Europa; aber nach dem Aufhören des Regens zeigt die Luft in Amerika sehr bald wieder einen hohen Grad von Trockenheit.

Die folgende Tabelle giebt das der Temperatur (t) entsprechende Gewicht des in einem Kubikmeter enthaltenen Dampfes in Grammen (g) an, wenn der Raum bei der betreffenden Temperatur ganz mit Dämpfen gesättigt ist.

t	g	t	g	t	g	t	g	t	g
−20°	1,06	4°	6,38	12°	10,62	20°	17,23	28°	27,10
−15	1,39	5	6,81	13	11,31	21	18,26	29	28,63
−10	2,30	6	7,27	14	12,04	22	19,37	30	30,23
− 5	3,36	7	7,67	15	12,81	23	20,50	31	31,91
0	4,89	8	8,07	16	13,59	24	21,59	32	33,66
1	5,23	9	8,82	17	14,43	25	22,95	33	35,51
2	5,59	10	9,38	18	15,14	26	24,27	34	37,43
3	5,98	11	9,99	19	16,26	27	25,69	35	39,51

*) Die Temperatur des feuchten Thermometers liegt natürlich zwischen dem Taupunkte und der Temperatur des trockenen Thermometers und zwar gewöhnlich nahezu in der Mitte zwischen beiden. Ist die Luft *ganz mit Dämpfen gesättigt*, so fallen alle drei zusammen.

welchem die in dem Raume vorhandenen Dämpfe denselben sättigen würden. Dieser Punkt, unter welchen die Temperatur eines Raumes nicht erniedrigt werden darf, ohne daß ein Niederschlag eines Teiles der vorhandenen Dämpfe erfolgt, wird der Taupunkt genannt.

Wenn man in einen Raum, in welchem sich Dämpfe befinden, einen Körper bringt, dessen Temperatur unter dem Taupunkte liegt, so schlagen sich die mit dem kälteren Körper in Berührung kommenden und hierdurch abgekühlten Dämpfe an demselben nieder. Auf diese Art kann man sich leicht überzeugen, daß in der atmosphärischen Luft jederzeit Dämpfe vorhanden sind. Ebenso beruht hierauf das Betauen der durch die äußere Luft abgekühlten Fensterscheiben eines erwärmten Zimmers zur Herbst- oder Winterszeit, ferner das sogenannte Schwitzen der Steine, wenn nach vorhergegangener kälterer Witterung wärmere Witterung eintritt und die Steine noch nicht die Temperatur der wärmeren Luft angenommen haben, u. dgl. m.

Man unterscheidet in der Physik zwischen absoluter und relativer Feuchtigkeit, indem man unter ersterer die Menge der in einem Raume vorhandenen Dämpfe, unter letzterer das Verhältnis zwischen der Menge der wirklich vorhandenen Dämpfe und der Menge der Dämpfe versteht, welche der Raum bei der stattfindenden Temperatur überhaupt zu fassen vermag.

Die Verdunstung des Wassers, das Wachstum der Pflanzen, das Wohlsein der Tiere und der Menschen hängt nicht so sehr von der absoluten und relativen Feuchtigkeit, als von der Trockenheit der Luft ab, wenn wir unter der Trockenheit der Luft die Menge der Dämpfe verstehen, welche derselben zur Sättigung noch fehlen. Demgemäß nennen wir auch im gewöhnlichen Leben die Luft trocken oder feucht, je nachdem die fehlende Menge groß oder klein ist. — Die Luft ist natürlich am feuchtesten, wenn sie mit Dämpfen gesättigt ist; die geringste Abkühlung bewirkt dann schon einen Niederschlag. — Bei gleichem absoluten Feuchtigkeitsgehalte an einem kalten Wintertage und einem warmen Sommertage kann die Luft an ersterem nahezu oder vollständig mit Dämpfen gesättigt, an dem letzteren wegen der hohen Temperatur weit von der Sättigung entfernt sein, so daß wir dieselbe Luft an dem Wintertage als sehr feucht, an dem Sommertage als trocken bezeichnen. Haben zwei Tage gleiche relative Feuchtigkeit, ist aber an dem einen die Luft erheblich wärmer als an dem andern, so erfolgt an dem ersteren wegen der größeren Trockenheit der Luft die Verdunstung bei weitem rascher als an dem letzteren. — Die Verdunstung hängt übrigens nicht bloß von der Temperatur des verdunstenden Wassers und der Trockenheit der Luft, sondern auch von der Stärke des Windes ab, durch welchen an die Stelle der über der Oberfläche des Wassers liegenden feuchteren Luftschichten trocknere geführt werden.

Um die Größe der täglichen oder jährlichen Verdunstung zu finden, stellt man im Freien Gefäße mit Wasser, welche man durch ein in einiger Höhe angebrachtes Dach gegen den Regen schützt (Atmometer), auf und beobachtet, um wie viel sich das Wasser infolge der Verdunstung vermindert. Diese Instrumente können jedoch aus bald einleuchtenden Gründen nur ein sehr ungenaues Maß der Größe der an der Erdoberfläche wirklich stattfindenden Verdunstung geben.

§. 244. **Hygrometrie.** Um den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu ermitteln, sind Instrumente von sehr verschiedener Einrichtung, welchen man im allgemeinen den Namen Hygrometer giebt, erfunden worden. Das gegenwärtig gebräuchlichste ist ein Instrument, welches den besonderen Namen Psychrometer führt. Dasselbe besteht aus zwei genau übereinstimmenden, neben einander aufgehängten Thermometern (Fig. 336), bei welchen die Kugel des einen mit Musselin umwickelt ist, der in ein unmittelbar darunter stehendes Gefäß mit Wasser reicht und hierdurch beständig

sättigt sich wegen der verhältnismäßig großen Verdunstungsoberfläche der innere Raum des Kästchens sehr rasch vollständig mit Feuchtigkeit und der Zeiger muß nunmehr auf den Teilstrich 100 einspielen, welche Einstellung nötigenfalls berichtigt werden kann. Das so justierte Instrument zeigt, nachdem man Schieber, Gewebe und Glas fortgenommen hat, nach einigen Minuten den relativen Feuchtigkeitsgehalt des zu prüfenden Raumes richtig an.

§. 245. Nebel, Wolken. Befindet sich in einem Gefäße Wasser, welches eine bedeutend höhere Temperatur hat als die umgebende Luft, so erblickt man über demselben einen aufsteigenden Schwaden oder Dunst, durch welchen die Durchsichtigkeit der Luft getrübt wird. Indem nämlich die von der heißen Flüssigkeit emporsteigenden Dämpfe in kältere Luftschichten gelangen, verdichten sie sich zu tropfbarflüssigem Wasser; es bilden sich sehr kleine Dunstkörperchen.*) Diese werden in der Luft schwebend erhalten, teils durch ihre außerordentliche Kleinheit, wie ja Ähnliches auch von den sogenannten Sonnenstäubchen gilt; teils werden sie durch die von der wärmeren Flüssigkeit aufsteigenden Luftströme emporgetrieben.

Eine ganz gleiche Entstehung haben die Nebel, welche man besonders im Herbste des Abends über Flüssen, Teichen oder feuchten Wiesen, wenn das Wasser oder der Erdboden eine höhere Temperatur als die Luft hat, ferner im Winter, besonders bei großer Kälte, über offenen, quellenreichen Gewässern erblickt. Diese Nebelmassen scheinen bei windstillem Wetter unbeweglich an derselben Stelle zu bleiben; bei aufmerksamerer Beobachtung bemerkt man jedoch in denselben eine lebhafte Bewegung und ein beständiges Aufsteigen der Dunstteilchen. — Nebel können übrigens nicht bloß in den angeführten Fällen, sondern überhaupt entstehen, wenn sich feuchte warme Luftmassen mit kälteren vermischen.

Von den Nebeln sind die Wolken nur durch die größere Höhe, in welcher sie schweben, verschieden, wie man, zumal in gebirgigen Gegenden, sich leicht überzeugen kann. Ein Beobachter im Thale erblickt den Gipfel eines Berges in Wolken eingehüllt, während ein Beobachter auf dem Berge selbst sich von einer Nebelmasse umgeben sieht. — Aus dem Gesagten geht schon hervor, daß die Wolken sich bis zu jeder Tiefe herabsenken können. Die größte Höhe, bis zu welcher sich dieselben erheben, kennt man nicht; sie übersteigt 8000 m, da man noch über den höchsten Bergen Wolken beobachtet hat. Zu den am niedrigsten hinziehenden Wolken gehören im allgemeinen die Regenwolken, zu den höchsten die sogenannten Schäfchen.

Die Wolken entstehen so wie der Nebel durch die Vermischung feuchterer und wärmerer Luftschichten mit kälteren. (Wenn wir im Winter im Freien atmen, so schlagen sich die ausgeatmeten Dämpfe in Form einer Wolke nieder.) Ebenso wie in den Nebeln finden auch in den Wolken beständige Bewegungen statt; nicht leicht behält eine Wolke längere Zeit die nämliche Gestalt bei. In den Gebirgen sieht

*) Nach neueren Untersuchungen (von Aßmann, Kießling u. a.) sind die kleinen Dunstkörperchen nicht Bläschen, wie man früher annahm, sondern Kügelchen. — Nach den Untersuchungen von Aitken scheint ferner die Kondensation des Wasserdampfes an den feinsten in der Luft schwebenden Staubteilchen stattzufinden, also das Vorhandensein von Staub die notwendige Vorbedingung der Nebel- und Wolkenbildung zu sein.

man häufig die Wolkenbildung an den Gipfeln der höchsten Berge ihren Anfang nehmen. Nicht selten sind bei übrigens heiterem Himmel die höheren Gebirge in Wolken eingehüllt. Der Grund dieser Erscheinung besteht darin, daß die in wagerechter Richtung bewegten Luftmassen durch die Gebirge emporzusteigen genötigt werden und, indem sie so in höhere und kältere Regionen gelangen, sich die Dämpfe derselben kondensieren, weshalb auch in den Gebirgen die jährliche Regenmenge im allgemeinen größer ist als in den benachbarten Ebenen.

Daß die Wolken gewöhnlich in größeren Höhen schweben, seltener als Nebel auf der Erdoberfläche lagern, hat seinen Grund hauptsächlich in der mit der Höhe abnehmenden Lufttemperatur. Die durch Verdunstung vom Meerwasser aufsteigenden Dämpfe müssen sich nämlich verdichten, sowie sie bei ihrem Emporsteigen in eine Luftschicht von hinreichend niedriger Temperatur gelangen. Die Höhe, in welcher diese Verdichtung erfolgt, wird um so geringer sein, je höher im Vergleich mit der Temperatur der Luft die Temperatur des Meerwassers ist. Die Nebel gehören daher vorzugsweise dem Winter und den kälteren Klimaten an; dagegen müssen im allgemeinen die Wolken im Sommer in größerer Höhe als im Winter, in heißen Klimaten höher als in kälteren schweben. — Überdies haben wir uns eine Wolke keineswegs als einen beständig aus der nämlichen Masse bestehenden Körper zu denken. Nicht selten sieht man vom Thale aus auf dem Gipfel eines Berges eine Wolke ruhen, deren Lage und Gestalt längere Zeit scheinbar dieselbe bleibt, während ein Beobachter in der Nebelmasse selbst die lebhaftesten Bewegungen wahrnimmt. Ebenso kann es geschehen, daß eine frei schwebende Wolke sich allmählich senkt und, indem sie in wärmere Luftschichten gelangt, die Dunstteilchen derselben sich wieder auflösen, während die Dämpfe aufsteigender wärmerer und feuchterer Luftströme, sowie sie in die kälteren Regionen kommen, sich zu Dunstkörperchen verdichten und die Wolke erneuern, welche, von der Ebene aus gesehen, beständig an derselben Stelle zu schweben scheint.

Die Wolken werden in die folgenden Hauptklassen eingeteilt:

1) Die Federwolke (cirrus), eine dünne, zarte weiße Wolke am blauen Himmel, welche die verschiedenartigste Gestalt annimmt, oft das Ansehen kleiner Federn, Flocken oder feiner Streifen hat. Nicht selten erstrecken sich die Federwolken, in lange Reihen angeordnet, über den Himmel hin. Sie bilden die am höchsten schwebenden Wolkenformen, befinden sich in einer Höhe von mehreren 1000 m, woselbst die Lufttemperatur tief unter Null ist, und müssen daher aus kleinen Eisnadeln bestehen. — Ihr Erscheinen am blauen Himmel deutet häufig auf das Herannahen einer barometrischen Depression (s. §. 235, Anm.).

2) Die Haufenwolke (cumulus). Man sieht dieselben besonders im Sommer wie große schwere Massen am Himmel schweben. Von der Sonne beschienen, erscheinen sie weiß, und in der Nähe des Horizonts nehmen sie das Ansehen ferner Gebirge an.

3) Die Schichtwolke (stratus), welche, wagerecht ausgebreitet, große Strecken des Himmels bedeckt und sich wie die Haufenwolke in den unteren Schichten der Atmosphäre befindet.

Übergangsformen sind die federige Haufenwolke (cirro-cumulus), gewöhnlich Schäfchen genannt, die federige Schichtwolke (cirro-stratus), welche den Himmel in großer Höhe wie ein dünner, durchscheinender Schleier bedeckt und meistens die Veranlassung zu Ringen um Sonne und Mond bildet (s. §. 212), und die geschichtete Haufenwolke (cumulo-stratus), welche häufig zur Regenwolke (nimbus) wird.

§. 246. Regen, Schnee, Hagel. Wenn die Dunstteilchen in einer Wolke sich in zu großer Menge anhäufen, so vereinigen sie sich zu Tropfen und fallen als Regen nieder. Die Menge des niederfallenden Regens wird gemessen, indem man denselben in Gefäßen mit senkrechten Wänden (Regenmessern), welche man im Freien aufstellt, auffängt und die Höhe beobachtet, bis zu welcher das Regenwasser in diesen Gefäßen steigt. Bis zu der nämlichen Höhe müßte dasselbe auch die Erdoberfläche bedecken, wenn es nirgend einen Abfluß hätte und nicht durch die Verdunstung vermindert würde.

Die Menge des jährlichen Regens ist für verschiedene Jahre an dem nämlichen Orte sehr verschieden; sie kann in einem Jahre mehr als doppelt so groß als in einem anderen sein. In der heißen Zone ist die jährliche Regenmenge beträchtlich größer als in der gemäßigten und kalten Zone, was sich leicht aus der durch die größere Wärme bewirkten stärkeren Verdunstung erklärt. In den niederen Breiten stürzt der Regen in weit stärkeren und dichteren Güssen nieder als in höheren Breiten. Bei Orten, welche unter derselben Breite liegen, wird das Verhältnis der jährlichen Regenmenge vorzüglich durch die Nähe des Meeres und die herrschende Windrichtung bedingt. Da in den tropischen Gegenden die östlichen, in den gemäßigten Zonen die westlichen Winde überwiegen, so sind dort die östlichen, hier die westlichen Küsten die an Regen reichern. So zeichnen sich insbesondere die westlichen Küsten von Europa durch häufige und reichliche Regen aus. — Von wesentlichem Einflusse auf die Menge und Häufigkeit des Regens sind ferner hohe Gebirgszüge, indem dieselben, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, überhaupt die Wolkenbildung und also auch die Entstehung des Regens begünstigen. Außerdem ist aber auch die Lage und Richtung derselben von großem Einfluß auf die Menge und Häufigkeit des Regens, wozu das in der Richtung von Norden nach Süden durch ein hohes Alpengebirge durchschnittene Skandinavien ein höchst auffallendes Beispiel liefert. Indem die durch westliche Winde herbeigeführten Regenwolken sich vorzüglich an der Westseite dieses Gebirges entladen, hat z. B. Bergen eine den Tropenländern gleiche und eine vier- bis fünfmal größere Regenmenge als das östlich gelegene Stockholm.

Wenn die Kondensation der Dämpfe in solchen Luftschichten erfolgt, deren Temperatur unter dem Gefrierpunkte liegt, so verdichten sich dieselben zu kleinen Schneeteilchen, welche bei stärkerer Anhäufung als Schneeflocken niederfallen. Fängt man dieselben mit einem unter 0° erkalteten Körper auf, so sieht man, daß sie gewöhnlich die Gestalt regelmäßiger, sechseckiger Sterne haben, wovon Fig. 338 einige Beispiele zeigt. Gelangen die Schneeflocken bei ihrem Niederfallen in Regionen, deren Temperatur mehrere Grade über Null liegt, so lösen sie sich zu Regen auf. Auf diese Art geschieht es häufig, daß auf den Bergen Schnee fällt, während es im Thale regnet.

(Fig. 338.)



Eine der merkwürdigsten Naturerscheinungen ist der *Hagel*, für dessen Entstehung zur Zeit eine ganz gesicherte Theorie noch fehlt

Der kleinere Hagel, welchen man gewöhnlich **Graupeln** nennt, ist am häufigsten im Winter und Frühjahr, der größere Hagel dagegen, welcher **Schloßen** genannt wird, im Sommer. — Die Graupeln haben meistens eine rundliche Gestalt, sie sind stets undurchsichtig und haben fast die weiße Farbe des Schnees; ihr Durchmesser beträgt meist nur wenige Millimeter. — Die Schloßen sind gewöhnlich länglichrund, fast birnförmig; sie bestehen meist aus einem undurchsichtigen, den Graupeln ähnlichen Kerne, welcher von einer durchsichtigen Eisrinde umgeben wird. Größere Hagelkörner sind aus abwechselnden, durchsichtigen und undurchsichtigen Schichten zusammengesetzt. Ihr Durchmesser erreicht zuweilen die Größe von mehr als fünf Centimeter. — Dem Niederfallen der Schloßen geht meistens ein starkes Geräusch in der Luft voraus, welches wahrscheinlich durch die aufeinander treffenden Körner erzeugt wird; gewöhnlich sind die Schloßen von Blitz und Donner begleitet. — Die vom Hagel getroffenen Gegenden bilden in der Regel lange schmale Streifen. — Der Hagel gehört vorzüglich der gemäßigten Zone an. In der heißen Zone gehört derselbe, besonders in den Ebenen, zu den seltenen Erscheinungen; in der kalten Zone kommen häufig Graupeln, dagegen nur selten Schloßen vor.

Fig. 339 stellt einen Regenmesser dar, welcher an den meteorologischen Stationen in Preußen im Gebrauch ist. Derselbe besteht aus dem cylindrischen Auffangegefäße a, dem darunter befindlichen Sammelgefäße b und dem Meßglase c. Um die Verdunstung des in dem unteren Gefäße sich ansammelnden Regenwassers möglichst zu hindern, läuft das Auffangegefäß nach unten in einen engen Trichter aus und verschließt so das Sammelgefäß bis auf die kleine Öffnung dieses Trichters. Unten endigt das letztere in ein kurzes, durch einen Hahn verschließbares Ansatzrohr, durch welches man das Regenwasser in den mit einer Skala versehenen Meßcylinder ablaufen lassen kann. Um die wirkliche Höhe des gefallenen Regens zu finden, muß man das Verhältnis von dem Querschnitt des Meßcylinders zur oberen Öffnung des Auffangegefäßes kennen. Das Wasser erreicht nämlich offenbar in dem Meßglase eine Höhe, welche im Vergleich zur wirklichen Regenhöhe sovielmal so groß ist, als der Querschnitt des Meßglases in der Auffangefläche enthalten ist. Ein solcher Regenmesser gestattet eine recht genaue Bestimmung der Höhe des gefallenen Regens.

(Fig. 339.)



An dem nämlichen Orte ist die von gleichen Regenmessern unter übrigens gleichen Umständen aufgefangene Regenmenge in größerer Höhe über dem Boden etwas geringer. Zur Erklärung dieser Erscheinung nahm man früher an, daß die Regentropfen bei ihrem Herabfallen durch die mit Dämpfen gesättigte Luft sich fortwährend vergrößerten. Neuere Beobachtungen aber haben ergeben, daß die erwähnte Erscheinung auf einer Wirkung des Windes beruht. Infolge der Reibung, welche die bewegte Luft an der Oberfläche der Erde erfährt, wird nämlich die Geschwindigkeit des Windes gegen den Erdboden hin verzögert, ist also in größerer Höhe bedeutender. Durch den Wind werden aber die Regentropfen am Auffangegefäß des Regenmessers abgelenkt und zwar um so mehr, je stärker der Wind weht; daher fallen in das Gefäß bei größerer Höhe etwas weniger Regentropfen. Zufolge des Vorstehenden muß man bei genauen Bestimmungen auch die Höhe des Regenmessers über dem Erdboden berücksichtigen. Um die wirkliche Menge des gefallenen Regens richtig abzumessen, würde man das Auffangegefäß [illegible] Höhe des Erdbodens anbringen müssen. Da dies aber aus anderen Gründen, insbesondere [illegible] im Winter möglichen Schneeverwehungen, nicht thunlich erscheint, so stellt man den [illegible] 1—2 m über dem Erdboden auf.

[illegible] kommen auf das Jahr etwa 156 Regentage; die Zahl der Regentage des [illegible] Winters nicht erheblich verschieden; die Menge des Regens ist dagegen im [illegible] als im Winter. Bei einem Gewitter fällt im Sommer mehr Regen auf [illegible] mehreren [illegible] jährliche Regenmenge beträgt in Centimeter [illegible] 59, [illegible], für Straßburg 67; sie steigt zu Clausthal

§. 246. Regen, Schnee, Hagel. Wenn die Dunstteilchen in einer Wolke sich in zu großer Menge anhäufen, so vereinigen sie sich zu Tropfen und fallen als Regen nieder. Die Menge des niederfallenden Regens wird gemessen, indem man denselben in Gefäßen mit senkrechten Wänden (Regenmessern), welche man im Freien aufstellt, auffängt und die Höhe beobachtet, bis zu welcher das Regenwasser in diesen Gefäßen steigt. Bis zu der nämlichen Höhe müßte dasselbe auch die Erdoberfläche bedecken, wenn es nirgend einen Abfluß hätte und nicht durch die Verdunstung vermindert würde.

Die Menge des jährlichen Regens ist für verschiedene Jahre an dem nämlichen Orte sehr verschieden; sie kann in einem Jahre mehr als doppelt so groß als in einem anderen sein. In der heißen Zone ist die jährliche Regenmenge beträchtlich größer als in der gemäßigten und kalten Zone, was sich leicht aus der durch die größere Wärme bewirkten stärkeren Verdunstung erklärt. In den niederen Breiten stürzt der Regen in weit stärkeren und dichteren Güssen nieder als in höheren Breiten. Bei Orten, welche unter derselben Breite liegen, wird das Verhältnis der jährlichen Regenmenge vorzüglich durch die Nähe des Meeres und die herrschende Windrichtung bedingt. Da in den tropischen Gegenden die östlichen, in den gemäßigten Zonen die westlichen Winde überwiegen, so sind dort die östlichen, hier die westlichen Küsten die an Regen reichern. So zeichnen sich insbesondere die westlichen Küsten von Europa durch häufige und reichliche Regen aus. — Von wesentlichem Einflusse auf die Menge und Häufigkeit des Regens sind ferner hohe Gebirgszüge, indem dieselben, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, überhaupt die Wolkenbildung und also auch die Entstehung des Regens begünstigen. Außerdem ist aber auch die Lage und Richtung derselben von großem Einfluß auf die Menge und Häufigkeit des Regens, wozu das in der Richtung von Norden nach Süden durch ein hohes Alpengebirge durchschnittene Skandinavien ein höchst auffallendes Beispiel liefert. Indem die durch westliche Winde herbeigeführten Regenwolken sich vorzüglich an der Westseite dieses Gebirges entladen, hat z. B. Bergen eine den Tropenländern gleiche und eine vier- bis fünfmal größere Regenmenge als das östlich gelegene Stockholm.

Wenn die Kondensation der Dämpfe in solchen Luftschichten erfolgt, deren Temperatur unter dem Gefrierpunkte liegt, so verdichten sich dieselben zu kleinen Schneeteilchen, welche bei stärkerer Anhäufung als Schneeflocken niederfallen. Fängt man dieselben mit einem unter 0° erkalteten Körper auf, so sieht man, daß sie gewöhnlich die Gestalt regelmäßiger, sechseckiger Sterne haben, wovon Fig. 338 einige Beispiele zeigt. Gelangen die Schneeflocken bei ihrem Niederfallen in Regionen, deren Temperatur mehrere Grade über Null liegt, so lösen sie sich zu Regen auf. Auf diese Art geschieht es häufig, daß auf den Bergen Schnee fällt, während es im Thale regnet.

(Fig. 338.)



Eine der merkwürdigsten Naturerscheinungen ist der Hagel, für dessen Entstehung zur Zeit eine ganz gesicherte Theorie noch fehlt.

der Temperaturen beider Gemengteile.*) Dieses ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn man gleiche Gewichtsteile verschiedener Materien miteinander mengt. Mischt man z. B. 1 kg Wasser von 10° mit 1 kg Eisenfeilicht von 30°, so zeigen dieselben nach der Mischung eine Temperatur von 12°. Indem also die Temperatur des Eisens um 18° gesunken ist, ist die des Wassers nur um 2° gestiegen. Wie wir oben (§. 236) gesehen haben, wird die Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 kg Wasser um 1° (genauer von 0° bis 1°) zu erhöhen imstande ist, eine Wärmeeinheit genannt; das Kil. Eisen hat also 2 Wärmeeinheiten abgegeben und dabei seine Temperatur um 18° erniedrigt. — Mischt man umgekehrt 1 kg Wasser von 30° mit 1 kg Eisen von 10°, so zeigt ein in die Mischung getauchtes Thermometer 28°. Die 2 Wärmeeinheiten, welche in diesem Falle das Wasser abgegeben hat, haben also in dem einen Kil. Eisen eine Temperaturerhöhung von 18° hervorgebracht. Nach dem Vorstehenden muß 1 kg Eisen, wenn seine Temperatur um 1° zunehmen soll, eine Wärmemenge von $^1/_9$ Wärmeeinheit aufnehmen.

Diejenige Wärmemenge (in Wärmeeinheiten ausgedrückt), welche einem Kilogramme eines Körpers zugeführt werden muß, um seine Temperatur um 1° zu erhöhen, wird die specifische Wärme des Körpers genannt. So beträgt die specifische Wärme des Eisens $^1/_9$, des Kupfers $^1/_{11}$, des Goldes $^1/_{30}$. Von allen festen und flüssigen Körpern besitzt das Wasser die größte specifische Wärme; dieselbe ist ungefähr viermal so groß als die des Erdbodens und doppelt so groß als die des Eises.

Man findet die specifische Wärme der atmospärischen Luft oder anderer Gase, indem man einen Strom des zu untersuchenden und auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Gases vermittelst eines schlangenförmig gekrümmten Rohres durch eine abgewogene Quantität Wasser leitet und die hierdurch in demselben bewirkte Temperaturerhöhung beobachtet.

Durch die einem Körper zugeführte Wärme wird indessen nicht bloß die Temperatur desselben erhöht, der Körper wird auch ausgedehnt, seine Moleküle werden auseinander getrieben. Da also die Wirkung eine doppelte ist, so werden wir auch die diese Wirkung hervorrufende Ursache uns in zwei Teile zerlegt denken können, von denen der eine die Ausdehnung bewirkt und durch diese Arbeit für das Thermometer verschwindet, während der andere die Temperaturerhöhung hervorruft.

Die specifische Wärme der festen und flüssigen Körper erfährt eine kleine Verminderung, wenn der Körper durch Stoß, Druck oder Abkühlung sein Volumen verringert; sie vergrößert sich, wenn das Volumen des Körpers sich vergrößert, (was bei Anwendung der Richmannschen Regel, wenn durch dieselbe ganz genaue Resultate erzielt werden sollen, nicht außer acht zu lassen ist). — Körper, welche man in allotropischen Zuständen kennt, besitzen in denselben verschiedene specifische Wärme; dieselbe ist z. B. bei Coaks und Graphit $1^1/_2$mal so groß als beim Diamanten. — Die specifische Wärme vergrößert sich, wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht, wovon das Wasser ein besonders auffallendes Beispiel darbietet.

---

*) Wenn man zwei ungleiche Quantitäten m und m' der nämlichen Materie, welche die Temperaturen t und t' haben, miteinander mengt, so ist die Temperatur der Mischung $\tau = \frac{mt+m't'}{m+m'}$ (*Richmannsche* Regel).

Bei der Bestimmung der specifischen Wärme der Gase sind wesentlich zwei Fälle zu unterscheiden, je nachdem das Gas bei der Erwärmung unter konstantem Drucke erhalten wird und folglich auch seine Spannung dieselbe bleibt, sein Volumen aber infolge der Erwärmung sich vergrößert, oder ob das Gas in feste Wände eingeschlossen ist, so daß sein Volumen das nämliche bleibt, seine Spannung aber infolge der Erwärmung vergrößert wird. Im ersteren Falle ist, da bei demselben zugleich äußere Arbeit verrichtet wird, für eine gleiche Temperaturerhöhung eine größere Wärmemenge als in letzterem erforderlich. (Vergl. unten §. 253, a und b.) Man unterscheidet hiernach die specifische Wärme der Gase bei konstantem Drucke und bei konstantem Volumen. Nur die erstere hat man bislang durch unmittelbare Versuche, wie sie oben näher angegeben wurden, bestimmen können; ferner ist es aber auch noch (mittelst höherer Rechnung) gelungen, das Verhältnis beider festzustellen. Bezeichnen wir für die atmosphärische Luft die specifische Wärme bei konstantem Druck mit c, die specifische Wärme bei konstantem Volumen mit c′, so ist nach genauen Untersuchungen

$$c : c' = 1{,}41.$$

Den gleichen Wert hat das Verhältnis (wenigstens angenähert) auch für die übrigen Gase. — Mit Hülfe der eben angegebenen Verhältniszahl läßt sich der Wert für die specifische Wärme bei konstantem Volumen leicht berechnen, wenn der Wert für die specifische Wärme bei konstantem Druck gefunden ist. Versuche haben z. B. für die atmosphärische Luft ergeben, daß die specifische Wärme bei konstantem Druck $= 0{,}237$ ist; nach dem Vorstehenden muß dann die specifische Wärme der Luft bei konstantem Volumen $= \frac{0{,}237}{1{,}41} = 0{,}168$ sein.

Die Angaben der unten folgenden Tabelle für Gase beziehen sich auf konstanten Druck.

Andererseits ist die specifische Wärme der Gase von dem Drucke (und also auch von dem Volumen) unabhängig, d. h. um die Temperatur einer bestimmten Quantität eines Gases um 1° zu erhöhen, ist die nämliche Wärmemenge erforderlich, sowohl wenn dieses Gas infolge eines starken Druckes in einen engen Raum zusammengepreßt ist, als auch wenn dasselbe bei schwächerem Drucke einen größeren Raum einnimmt.

Bei den drei einfachen Gasen, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, verhalten sich die specifischen Wärmen umgekehrt wie die specifischen Gewichte: gleiche Volume dieser Gase erfordern daher für die nämliche Temperaturerhöhung gleiche Wärmemengen. Dieser Satz ist ein specieller Fall des von Dülong und Petit (1819) aufgefundenen Gesetzes, daß bei den meisten einfachen Stoffen sich die specifische Wärme umgekehrt wie das Atomgewicht verhält, und daß folglich die Atome der (meisten) einfachen Stoffe einer gleichen Wärmemenge bedürfen, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren. — Ein ähnliches Gesetz gilt von zusammengesetzten Körpern, welche eine gleiche chemische Zusammensetzung haben.

Tafel der specifischen Wärme einiger Körper.

Blei	0,031	Alkohol	0,602
Eis	0,505	Leinöl	0,528
Eisen	0,114	Quecksilber	0,033
Glas	0,194	Wasser	1,000
Gold	0,032	Chlor	0,121
Kochsalz	0,214	Kohlensäure	0,217
Kupfer	0,095	Kohlenwasserstoff, schwerer	0,404
Messing	0,094	Sauerstoff	0,218
Platin	0,032	Stickstoff	0,244
Schwefel	0,178	Atmospär. Luft	0,237
Silber	0,057	Wasserdampf	0,480
Holzkohle	0,241	Wasserstoff	3,409
Zink	0,095		

der Temperaturen beider Gemengteile.*) Dieses ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn man gleiche Gewichtsteile verschiedener Materien miteinander mengt. Mischt man z. B. 1 kg Wasser von 10° mit 1 kg Eisenfeilicht von 30°, so zeigen dieselben nach der Mischung eine Temperatur von 12°. Indem also die Temperatur des Eisens um 18° gesunken ist, ist die des Wassers nur um 2° gestiegen. Wie wir oben (§. 236) gesehen haben, wird die Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 kg Wasser um 1° (genauer von 0° bis 1°) zu erhöhen imstande ist, eine **Wärmeeinheit** genannt; das Kil. Eisen hat also 2 Wärmeeinheiten abgegeben und dabei seine Temperatur um 18° erniedrigt. — Mischt man umgekehrt 1 kg Wasser von 30° mit 1 kg Eisen von 10°, so zeigt ein in die Mischung getauchtes Thermometer 28°. Die 2 Wärmeeinheiten, welche in diesem Falle das Wasser abgegeben hat, haben also in dem einen Kil. Eisen eine Temperaturerhöhung von 18° hervorgebracht. Nach dem Vorstehenden muß 1 kg Eisen, wenn seine Temperatur um 1° zunehmen soll, eine Wärmemenge von $^1/_9$ Wärmeeinheit aufnehmen.

Diejenige Wärmemenge (in Wärmeeinheiten ausgedrückt), welche einem Kilogramme eines Körpers zugeführt werden muß, um seine Temperatur um 1° zu erhöhen, wird die specifische Wärme des Körpers genannt. So beträgt die specifische Wärme des Eisens $^1/_9$, des Kupfers $^1/_{11}$, des Goldes $^1/_{30}$. Von allen festen und flüssigen Körpern besitzt das Wasser die größte specifische Wärme; dieselbe ist ungefähr viermal so groß als die des Erdbodens und doppelt so groß als die des Eises.

Man findet die specifische Wärme der atmospärischen Luft oder anderer Gase, indem man einen Strom des zu untersuchenden und auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Gases vermittelst eines schlangenförmig gekrümmten Rohres durch eine abgewogene Quantität Wasser leitet und die hierdurch in demselben bewirkte Temperaturerhöhung beobachtet.

Durch die einem Körper zugeführte Wärme wird indessen nicht bloß die Temperatur desselben erhöht, der Körper wird auch ausgedehnt, seine Moleküle werden auseinander getrieben. Da also die Wirkung eine doppelte ist, so werden wir auch die diese Wirkung hervorrufende Ursache uns in zwei Teile zerlegt denken können, von denen der eine die Ausdehnung bewirkt und durch diese Arbeit für das Thermometer verschwindet, während der andere die Temperaturerhöhung hervorruft.

Die specifische Wärme der festen und flüssigen Körper erfährt eine kleine Verminderung, wenn der Körper durch Stoß, Druck oder Abkühlung sein Volumen verringert; sie vergrößert sich, wenn das Volumen des Körpers sich vergrößert, (was bei Anwendung der Richmannschen Regel, wenn durch dieselbe ganz genaue Resultate erzielt werden sollen, nicht außer acht zu lassen ist). — Körper, welche man in allotropischen Zuständen kennt, besitzen in denselben verschiedene specifische Wärme; dieselbe ist z. B. bei Coaks und Graphit $1^1/_2$mal so groß als beim Diamanten. — Die specifische Wärme vergrößert sich, wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht, wovon das Wasser ein besonders auffallendes Beispiel darbietet.

---

*) Wenn man zwei ungleiche Quantitäten m und m' der nämlichen Materie, welche die Temperaturen t und t' haben, miteinander mengt, so ist die Temperatur der Mischung $\tau = \frac{mt+m't'}{m+m'}$ (*Richmannsche* Regel).

Bei der Bestimmung der specifischen Wärme der Gase sind wesentlich zwei Fälle zu unterscheiden, je nachdem das Gas bei der Erwärmung unter konstantem Drucke erhalten wird und folglich auch seine Spannung dieselbe bleibt, sein Volumen aber infolge der Erwärmung sich vergrößert, oder ob das Gas in feste Wände eingeschlossen ist, so daß sein Volumen das nämliche bleibt, seine Spannung aber infolge der Erwärmung vergrößert wird. Im ersteren Falle ist, da bei demselben zugleich äußere Arbeit verrichtet wird, für eine gleiche Temperaturerhöhung eine größere Wärmemenge als in letzterem erforderlich. (Vergl. unten §. 253, a und b.) Man unterscheidet hiernach die specifische Wärme der Gase bei konstantem Drucke und bei konstantem Volumen. Nur die erstere hat man bislang durch unmittelbare Versuche, wie sie oben näher angegeben wurden, bestimmen können; ferner ist es aber auch noch (mittelst höherer Rechnung) gelungen, das Verhältnis beider festzustellen. Bezeichnen wir für die atmosphärische Luft die specifische Wärme bei konstantem Druck mit c, die specifische Wärme bei konstantem Volumen mit c′, so ist nach genauen Untersuchungen

$$c : c' = 1{,}41.$$

Den gleichen Wert hat das Verhältnis (wenigstens angenähert) auch für die übrigen Gase. — Mit Hülfe der eben angegebenen Verhältniszahl läßt sich der Wert für die specifische Wärme bei konstantem Volumen leicht berechnen, wenn der Wert für die specifische Wärme bei konstantem Druck gefunden ist. Versuche haben z. B. für die atmosphärische Luft ergeben, daß die specifische Wärme bei konstantem Druck = 0,237 ist; nach dem Vorstehenden muß dann die specifische Wärme der Luft bei konstantem Volumen $= \frac{0{,}237}{1{,}41} = 0{,}168$ sein.

Die Angaben der unten folgenden Tabelle für Gase beziehen sich auf konstanten Druck.

Andererseits ist die specifische Wärme der Gase von dem Drucke (und also auch von dem Volumen) unabhängig, d. h. um die Temperatur einer bestimmten Quantität eines Gases um 1° zu erhöhen, ist die nämliche Wärmemenge erforderlich, sowohl wenn dieses Gas infolge eines starken Druckes in einen engen Raum zusammengepreßt ist, als auch wenn dasselbe bei schwächerem Drucke einen größeren Raum einnimmt.

Bei den drei einfachen Gasen, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, verhalten sich die specifischen Wärmen umgekehrt wie die specifischen Gewichte: gleiche Volume dieser Gase erfordern daher für die nämliche Temperaturerhöhung gleiche Wärmemengen. Dieser Satz ist ein specieller Fall des von Dulong und Petit (1819) aufgefundenen Gesetzes, daß bei den meisten einfachen Stoffen sich die specifische Wärme umgekehrt wie das Atomgewicht verhält, und daß folglich die Atome der (meisten) einfachen Stoffe einer gleichen Wärmemenge bedürfen, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren. — Ein ähnliches Gesetz gilt von zusammengesetzten Körpern, welche eine gleiche chemische Zusammensetzung haben.

Tafel der specifischen Wärme einiger Körper.

Blei	0,031	Alkohol	0,602
Eis	0,505	Leinöl	0,528
Eisen	0,114	Quecksilber	0,033
Glas	0,194	Wasser	1,000
Gold	0,032	Chlor	0,121
Kochsalz	0,214	Kohlensäure	0,217
Kupfer	0,095	Kohlenwasserstoff, schwerer	0,404
Messing	0,094	Sauerstoff	0,218
Platin	0,032	Stickstoff	0,244
Schwefel	0,178	Atmospär. Luft	0,237
Silber	0,057	Wasserdampf	0,480
Holzkohle	0,241	Wasserstoff	3,409
Zink	0,095		

D. Fortpflanzung der Wärme.

§. 248. **Wärmeleitung.** Wenn zwei sich berührende Körper an der Berührungsstelle eine ungleiche Temperatur haben, so nimmt hier die Temperatur des wärmeren beständig ab, die des kälteren beständig zu, bis beide eine gleiche Temperatur zeigen. Dasselbe findet bei den sich berührenden Teilen des nämlichen Körpers statt. Man sagt in diesem Falle, die Wärme werde von einem Körper zum anderen oder von dem einen Teile eines Körpers zum folgenden fortgeleitet. Nach Maßgabe der Geschwindigkeit, mit welcher sich die Wärme in einem Körper ausbreitet, unterscheidet man gute und schlechte Wärmeleiter.

Unter den festen Körpern sind bekanntlich die Metalle die besten Wärmeleiter; bei weitem schlechter wird die Wärme durch Glas, Marmor und andere Steine fortgeleitet. Zu den schlechtesten Wärmeleitern gehören Kohle, Holz, Stroh, Seide, Wolle, Federn.

Auf dem verschiedenen Vermögen der Körper, die Wärme zu leiten, beruhen eine Menge bekannter und leicht zu erklärender Erscheinungen. Metallene Kochgeschirre werden mit hölzernen Griffen versehen; unsere Kleidung, besonders im Winter, besteht aus schlechten Wärmeleitern; werden ein Stück Metall und ein Stein gleich stark erhitzt, so verbrennen wir uns eher an dem Metall als an dem Steine; in der Winterkälte fühlt sich Metall kälter an als Stein oder Holz u. dgl. m.

Bei den Flüssigkeiten haben wir zwei Fälle zu unterscheiden, je nachdem ihnen die Wärme von oben oder von unten zugeführt wird. Im letzteren Falle veranlaßt das Emporsteigen der unteren erwärmten und also ausgedehnten Schichten und das Niedersinken der oberen kälteren und daher specifisch schwereren Schichten beständige Strömungen in der Flüssigkeit, vermöge deren sich die Wärme rasch durch die ganze Masse verbreitet. Findet aber die Erwärmung von oben statt, indem man die Oberfläche der Flüssigkeiten mit erwärmten Körpern in Berührung bringt, so erweisen sich dieselben, mit Ausnahme des Quecksilbers und überhaupt der geschmolzenen Metalle, als sehr schlechte Wärmeleiter.

Das nämliche gilt auch von den luftförmigen Körpern. Dieselben besitzen ein so geringes Leitungsvermögen der Wärme, daß es sich durch direkte Versuche nur schwierig nachweisen läßt, zumal die Wärme die luftförmigen Körper noch auf eine andere Art, von welcher sogleich im folgenden Paragraphen die Rede sein wird, sehr leicht durchdringt und es daher schwer hält, die auf diese Art bewirkte Erwärmung von der durch Leitung herbeigeführten zu unterscheiden. Betten, Pelze und andere lockere Körper verdanken ihr geringes Leitungsvermögen für Wärme vorzüglich dem Umstande, daß zwischen den Federn, Haaren u. s. w. eine Luftschicht festgehalten wird, und daß die Luft ein äußerst schlechter Wärmeleiter ist.

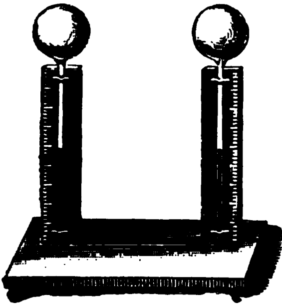
Um das Wärmeleitungsvermögen der Metalle zu vergleichen, überzog man Drähte von gleichem Querschnitt mit Wachs, tauchte dieselben mit dem einen Ende in erwärmtes Öl und beobachtete die Länge, bis zu welcher das Wachs an denselben in der nämlichen Zeit schmolz. — Genauer ist die Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme mit Hülfe eines Thermomultiplikators (§. 155) bestimmt worden, indem man die Thermosäule [illegible] -nen Stellen der zu prüfenden, an einem Ende auf *eine bestimmte* Temperatur erwärm[illegible] Berührung brachte und die Ablenkung der

Magnetnadel beobachtete. Diese Untersuchungen haben zu dem Resultate geführt, daß die Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme sehr nahe mit dem elektrischen Leitungsvermögen derselben (vergl. oben §. 147) übereinstimmt.

§. 249. Wärmestrahlung. Außer der mittelbaren Fortpflanzung der Wärme durch Leitung giebt es auch noch eine unmittelbare, bei welcher die Wärme von einem Körper zum anderen ohne die Vermittelung der dazwischen befindlichen Körper übergeht. Man nennt diese Art der Fortpflanzung Wärmestrahlung. Eine Folge der Wärmestrahlung ist z. B. die Hitze, welche wir im Gesichte empfinden, wenn wir uns in einiger Entfernung einem stark geheizten Ofen oder einem Kaminfeuer gegenüber befinden. Daß hier die Wärme nicht durch die Luft fortgeleitet worden ist, geht deutlich daraus hervor, daß das Gefühl von Hitze sogleich verschwindet, wenn zwischen den Ofen oder das Feuer und das Gesicht ein Schirm gebraucht wird.

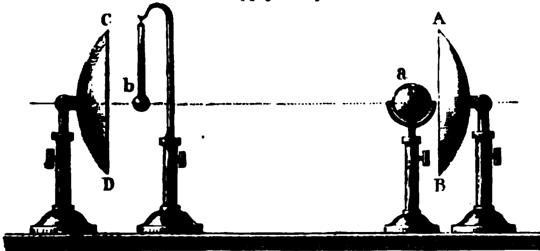
Bei den Versuchen über strahlende Wärme wendet man bequem das Differentialthermometer an. Dieses besteht aus einer Uförmigen Röhre (Fig. 340), welche in der Mitte mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt ist, an ihren Enden aber in zwei mit Luft gefüllte Kugeln ausläuft. Wenn beide Kugeln gleich erwärmt sind, so steht die Flüssigkeit in beiden Schenkeln der Röhre gleich hoch, wird aber eine Kugel mehr erwärmt als die andere, so fällt die Flüssigkeit auf der Seite der wärmeren Kugel und steigt auf der Seite der kälteren Kugel. Das Differentialthermometer zeigt daher keine bestimmte Temperatur, sondern nur überhaupt an, daß eine Verschiedenheit der Temperatur vorhanden ist; es hat aber vor einem Quecksilber- oder Weingeistthermometer den Vorzug größerer Empfindlichkeit.

(Fig. 340.)



Besonders lehrreich ist der folgende Versuch. Zwei Hohlspiegel AB und CD (Fig. 341) werden in einer Entfernung von mehreren Metern so aufgestellt, daß ihre Achsen in eine gerade Linie fallen. Nehmen wir dann an, in dem Brennpunkte a des einen Spiegels AB befinde sich ein leuchtender Gegenstand, so werden die von demselben ausgehenden Strahlen (zufolge §. 215, a) von dem Spiegel AB so zurückgeworfen, daß sie parallel mit der gemeinschaftlichen Achse beider Spiegel auf den Spiegel CD fallen und daher von diesem nach dem Brennpunkte b hin reflektiert werden. Bringen wir jetzt in den Brennpunkt b die eine Kugel des Differentialthermometers (oder noch besser einen Thermomultiplikator, §. 155) und in den Brennpunkt a eine stark erhitzte, aber noch nicht glühende eiserne Kugel, so fällt das Differentialthermometer in b und zeigt also eine vermehrte Wärme an; es kehrt aber auf den früheren Stand zurück, sowie einer der Spiegel mit einem

(Fig. 341.)



Schirme bedeckt wird, und das Fallen des Thermometers wiederholt sich fast augenblicklich, sowie man den Schirm wegzieht. Aus diesen Versuchen ergiebt sich:

1) Die dunkle Wärme pflanzt sich so wie das Licht in geraden Linien fort; wir nennen diese Linien Wärmestrahlen.

2) Die Wärmestrahlen werden nach demselben Gesetze zurückgeworfen, wie die Lichtstrahlen.

3) Die Fortpflanzung der strahlenden Wärme geschieht mit einer großen (wahrscheinlich mit derselben) Geschwindigkeit wie die des Lichtes.

Wenn man die Hohlspiegel in der angegebenen Art in einem Raume aufstellt, welcher eine sehr niedrige Temperatur, z. B. von — 20° hat und man bringt in den einen Brennpunkt einen Eiszapfen von — 10°, so kommt ein in dem anderen Brennpunkte befindliches Thermometer ebenfalls zum Steigen. Dieser und ähnliche Versuche führen zu dem Schlusse, daß alle Körper bei allen Temperaturen Wärme ausstrahlen.

Die von einem Körper ausgesendeten Wärmestrahlen werden von den ihn umgebenden Körpern teils zurückgeworfen, teils verschluckt (absorbiert). So könnte sich das Thermometer bei den oben angeführten Versuchen mit den Hohlspiegeln nicht erwärmen, wenn es nicht einen mehr oder minder großen Teil der auffallenden Wärmestrahlen verschluckte. — Wenn ein Körper ebensoviel Wärme ausstrahlt, als er von den Wärmestrahlen, welche die umgebenden Körper ihm zusenden, verschluckt, so bleibt seine Temperatur unverändert. Sie muß aber fallen oder steigen, je nachdem er eine größere Menge Wärmestrahlen aussendet oder eine größere Menge verschluckt.

So strahlt z. B. die Erde während eines Jahres ebensoviel Wärme in den Weltraum aus, als sie von der Sonne empfängt. Ohne diese Ausstrahlung müßte die Temperatur der Erde fortwährend wachsen, da sie beständig von der Sonne Wärme empfängt. Auf der Wärmestrahlung beruht auch die größere Kälte der Nacht bei heiterem als bei bedecktem Himmel. In dem letzteren Falle nämlich strahlen die Wolken gegen die Erdoberfläche teils Wärme aus, teils werfen sie die von der Erdoberfläche ausgesendeten Wärmestrahlen zurück und geben so derselben einen mehr oder minder großen Ersatz für die ausgestrahlte Wärme, welcher bei heiterem Himmel wegfällt.

Die Menge der von einem Körper ausgestrahlten Wärme wächst mit der Temperatur desselben; sie hängt aber außerdem auch noch von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab. Bei rauher Oberfläche strahlt der nämliche Körper gewöhnlich stärker aus als bei glatter; dichtere Körper strahlen im allgemeinen die Wärme schwächer aus als weniger dichte. Besonders stark strahlt der Kienruß die Wärme aus; polierte Metalle dagegen strahlen dieselbe am schwächsten aus. Man kann sich hiervon leicht durch den folgenden Versuch überzeugen:

In den einen Brennpunkt a (Fig. 341) der auf die oben angegebene Art auf[illegible] Hohlspiegel bringt man einen mit heißem Wasser gefüllten Würfel von [illegible] ine andere rauh gelassen oder geritzt,

eine dritte mit einer Glasscheibe bedeckt und endlich eine vierte über einer Öllampe mit Ruß stark geschwärzt ist. Ein in dem andern Brennpunkte b angebrachtes Thermometer zeigt dann die geringste Zunahme der Temperatur an, wenn der Würfel die polierte Seite gegen den Hohlspiegel AB wendet, in dessen Brennpunkt er sich befindet; die Zunahme der Wärme beträgt etwas mehr, wenn der Würfel die geritzte Seite dem Spiegel AB zukehrt; sie ist noch größer, wenn der Würfel die mit einer Glasplatte belegte Seite, am größten aber, wenn er die mit Ruß überzogene Seite dem Hohlspiegel AB zuwendet.

Dasselbe lehrt auch der folgende Versuch: In einem geräumigen Zimmer werden zwei mit siedendheißem Wasser gefüllte messingene Gefäße, um die Wärmeleitung möglichst zu verringern, an feinen Schnüren aufgehängt. Beide Gefäße haben übrigens eine ganz gleiche Beschaffenheit, nur hat das eine eine blanke, das andere eine durch Ruß geschwärzte Oberfläche, und in jedes der Gefäße ist ein Thermometer eingetaucht. Man sieht dann die Temperatur des Wassers in dem geschwärzten Gefäße bedeutend rascher als in dem Gefäße mit blanker Oberfläche abnehmen. — Körper, welche ihre Wärme möglichst beibehalten sollen, wie z. B. Röhren, durch welche Dämpfe, warmes Wasser u. dgl. fortgeleitet werden, müssen daher eine blanke, dichte Oberfläche haben. Bei denjenigen Körpern dagegen, welche die Bestimmung haben, ihre Wärme an die Umgebung abzugeben, wie z. B. Öfen, Ofenpfeifen innerhalb des Zimmers u. dgl., findet zweckmäßiger das Gegenteil statt.

Diejenigen Körper, welche die Wärme am meisten ausstrahlen, verschlucken auch die ihnen von anderen Körpern zugesendeten Wärmestrahlen am reichlichsten und werfen am wenigsten von denselben zurück.

(Fig. 342.)



Hierdurch wird es begreiflich, daß in einem geschlossenen Raume, z. B. in einem Zimmer, alle Körper, auch wenn dieselben eine sehr verschiedene Oberfläche haben, allmählich eine gleiche Temperatur annehmen, indem diejenigen Körper, welche vermöge der Beschaffenheit ihrer Oberfläche die meiste Wärme ausstrahlen, auch von den Wärmestrahlen, welche die umgebenden Körper ihnen zusenden, am meisten aufnehmen.

Das Differentialthermometer und der oben beschriebene Würfel sind zuerst von Leslie (1804) für Untersuchungen über strahlende Wärme konstruiert. — Zu dem mit dem Leslieschen Würfel, sowie überhaupt zu sämtlichen über strahlende Wärme anzustellenden Versuchen eignet sich besonders der Thermomultiplikator, welcher die Hohlspiegel fast für alle Versuche entbehrlich macht. In Fig. 342

stellt w den Leslieschen Würfel, s die in §. 155 näher beschriebene und nach größerem Maßstabe abgebildete thermoelektrische Säule, von welcher die eine Seite der Lötstellen dem Würfel zugewendet und unbedeckt, die andere abgewendete aber bedeckt ist, und m den mit der Säule verbundenen und in §. 144 ausführlicher beschriebenen Multiplikator vor. Der hohle, metallene Conus c reflektiert die auf die polierte Innenseite fallenden Wärmestrahlen nach der Säule s und verstärkt so die Wirkung.

§. 250. **Fortsetzung.** So wie die durchsichtigen Körper den Lichtstrahlen einen Durchgang gestatten, so giebt es auch Körper, welche die dunklen Wärmestrahlen durch sich hindurchlassen. Man nennt diese Körper **diatherman (durchwärmig)**, Körper aber, welche keine dunklen Wärmestrahlen durchlassen, **adiatherman**. Indem die dunkeln Wärmestrahlen aus einem Mittel in ein anderes übergehen, werden sie in ähnlicher Art wie die Lichtstrahlen gebrochen; sie besitzen jedoch eine noch geringere Brechbarkeit als die roten Strahlen (vgl. oben §. 202, a, Anm.) und müssen folglich auch eine geringere Vibrationsgeschwindigkeit und größere Wellenlänge haben. — Im allgemeinen verschlucken die durchsichtigen Körper die dunklen Wärmestrahlen mehr oder weniger. Insbesondere klares Glas, Wasser, Eis, Alaun, welche einen so hohen Grad von Durchsichtigkeit besitzen, verschlucken die dunklen Wärmestrahlen fast gänzlich. Während daher die leuchtenden Sonnenstrahlen die Glasfenster unserer Wohnungen, Gewächshäuser u. dgl. mit Leichtigkeit durchdringen und den inneren Raum und die in demselben befindlichen Gegenstände erwärmen, treten die von diesen ausgehenden dunklen Wärmestrahlen durch das Glas nicht wieder aus. — Von allen bekannteren Körpern ist **Steinsalz** am meisten diatherman. Dasselbe gestattet den dunklen Wärmestrahlen einen ebenso reichlichen Durchgang wie den Lichtstrahlen. Mit einer Steinsalzlinse lassen sich jene ebenso wie diese in einen Brennpunkt konzentrieren. Während die meisten undurchsichtigen Körper auch adiatherman sind, lassen schwarzer Glimmer und durch Kohle so intensiv schwarz gefärbtes Glas, daß dasselbe vollkommen undurchsichtig erscheint, die dunklen Wärmestrahlen ziemlich reichlich durch.

Durch genaue Untersuchungen ist nachgewiesen, daß so wie es verschiedenfarbige Lichtstrahlen giebt, auch verschiedene Gattungen von Wärmestrahlen existieren, welche sich durch die ungleiche Größe ihrer Vibrationsgeschwindigkeiten und ihrer Wellenlängen (also auch durch ungleiche Brechbarkeit) voneinander unterscheiden, während sie sämtlich eine kleinere Vibrationsgeschwindigkeit und größere Wellenlänge (also geringere Brechbarkeit) als die roten Lichtstrahlen besitzen. Man nennt diese Verschiedenheit der dunklen Wärmestrahlen **Wärmefärbung** (**Thermochrose**). — So wie die verschiedenfarbigen Strahlen von verschiedenen Körpern nach ungleichen Verhältnissen reflektiert und absorbiert und durchgelassen werden, ebenso gilt ganz dasselbe von den verschiedenartigen dunklen Wärmestrahlen. Überhaupt stimmen die dunklen Strahlen in ihrem ganzen Verhalten mit den leuchtenden überein, von denen sie sich, wie gesagt, nur durch die geringere Vibrationsgeschwindigkeit und größere Wellenlänge unterscheiden.

Bei niedriger Temperatur strahlt ein Körper im allgemeinen nur dunkle Wärmestrahlen aus; mit zunehmender Erwärmung treten immer mehr Strahlen von größerer Vibrationsgeschwindigkeit [illegible] ungefähr 500 [illegible] s. §. 207) erscheinen

die ersten im roten Lichte leuchtenden Strahlen; in der Weißglut werden außer dunkeln auch sämtliche leuchtende Strahlen ausgesandt. (S. auch §. 252.)

Von den Gründen, weshalb wir vermittelst der dunklen Wärmestrahlen nicht zu sehen vermögen, wird weiter unten (§. 252) die Rede sein.

Noch besser diatherman als Steinsalz sind die einfachen Gase, wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, atmosphärische Luft im trockenen Zustande; dagegen soll der Wasserdampf nach Tyndall dunkle Wärmestrahlen reichlich absorbieren.

Die Erscheinungen der Wärmefärbung sind zuerst von Melloni (1831) untersucht worden. — Forbes in England hat (1835) eine Polarisation, Fizeau und Foucault haben (1847) die Interferenz und Knoblauch (1848) die Beugung der Wärmestrahlen nachgewiesen.

§. 251. Der Tau und der Reif. Durch die Wärmestrahlung geschieht es häufig, daß die Körper an der Oberfläche der Erde am Abend oder während der Nacht bis mehrere Grade unter die Temperatur der Luft erkalten und sich infolge hiervon die Dämpfe der mit denselben in Berührung stehenden Luftschichten zu Tropfen kondensieren, wodurch der Tau oder statt dessen der Reif entsteht, wenn die Temperatur der durch Strahlung erkalteten Körper bis unter Null herabgeht. Der Tau bildet sich, wie aus den schon oben (§. 249) angeführten Gründen hervorgeht, bei weitem reichlicher in heiteren Nächten als bei bedecktem Himmel. — Ebenso betauen Körper, welche sich unterhalb irgend eines Daches befinden, wenig oder gar nicht. — Nicht alle Körper betauen gleich stark. Der Tau erscheint reichlicher an Gräsern und anderen Pflanzen als an Steinen oder dem nackten Erdboden, weil größere und kompaktere Massen durch die Strahlung langsamer und weniger erkalten als frei in die Luft hineinragende Grashalme oder Blätter. — Der Tau fällt reichlicher bei Windstille als bei stark bewegter Luft. Denn im letzteren Falle erhalten die Körper an der Erdoberfläche für die Wärme, welche sie durch Strahlung verlieren, dadurch Ersatz, daß sie mit fortwährend wechselnden warmen Luftschichten in Berührung kommen, weshalb dieselben nicht bedeutend unter die Lufttemperatur erkalten können. — Auf gleichen Gründen dürfte auch die Erscheinung beruhen, daß in Thälern häufig reichlichere Bildung von Tau und Reif stattfindet als auf den einschließenden Bergen und angrenzenden Hochebenen, indem der Luft auf den Höhen fast nie die Bewegung gänzlich abgeht, auch wenn in den Thälern volle Windstille herrscht, und überdies die kälteren Luftschichten vermöge ihres größeren specifischen Gewichtes sich zu Boden senken. Ebenso erklärt sich hieraus, warum Nachtfröste im Herbst oder Frühjahr in den Thälern oft viel nachteiliger wirken als auf den umgebenden Bergen und Bergabhängen.

Der Engländer Wells hat zuerst (1814) gründliche Untersuchungen über den Tau angestellt und die richtige Erklärung desselben gegeben. Indem er unter anderm Büschel von Baumwolle, in welche er Thermometer eingesenkt hatte, verschiedenen Bedingungen unterwarf, fand er, daß diejenigen, deren Temperatur am tiefsten unter die Lufttemperatur herabgegangen war, sich auch am reichlichsten mit Tau bedeckt und am meisten an Gewicht zugenommen hatten. Diese Untersuchungen sind später von Melloni wiederholt und im wesentlichen bestätigt worden.

E. Wesen und Quellen der Wärme.

§. 252. **Das Wesen der Wärme.** Im vorhergehenden haben wir gesehen, daß die dunklen Wärmestrahlen, abgesehen davon, daß dieselben in unserm Auge nicht die Empfindung des Lichtes hervorrufen, in allen andern Erscheinungen, welche sie darbieten, mit den Lichtstrahlen übereinstimmen und sich von diesen nur durch geringere Vibrationsgeschwindigkeit und größere Wellenlänge unterscheiden. Wir werden daher in Übereinstimmung mit der oben (§. 185) über das Licht angeführten Hypothese annehmen, daß nicht bloß die kleinsten Teilchen (Moleküle) der leuchtenden, sondern auch der dunklen Körper beständig in mannigfachen Schwingungen begriffen sind, welche sich dem die Poren aller Körper und den Weltraum erfüllenden Äther mitteilen und durch denselben wellenförmig fortpflanzen. Daß wir vermittelst der dunklen Strahlen nicht zu sehen vermögen, erklärt sich entweder durch die Annahme, daß die Hornhaut und die verschiedenen Feuchtigkeiten des Auges atherman sind, oder daß nur diejenigen Ätherwellen von dem Sehnerven als Licht empfunden werden, deren Vibrationsgeschwindigkeit innerhalb gewisser Grenzen liegt, so wie ja auch vom Ohr solche Schallwellen nicht mehr als Schall vernommen werden, deren Vibrationsgeschwindigkeit über eine gewisse Grenze hinaus oder unter eine bestimmte Grenze hinab geht. (Vgl. oben §. 166.)

Wenn die Ätherwellen der leuchtenden oder dunklen Wärmestrahlen auf einen andern Körper treffen, so werden sie teils zurückgeworfen, teils treten sie in das Innere desselben ein. Durch die Stöße, welche sie auf die Moleküle des Körpers ausüben, verstärken oder vermehren sie die bereits vorhandenen Schwingungen derselben, und indem sie so ihre lebendige Kraft (s. §. 44, b) ganz oder zum Teile an diese übertragen, folglich einbüßen, was wir oben mit dem Worte Absorption der Wärmestrahlen bezeichnet haben, vergrößern sie die lebendige Kraft der schwingenden Moleküle des Körpers und erhöhen also die Temperatur desselben, indem wir nämlich mit dem Worte Temperatur denjenigen Zustand eines Körpers bezeichnen, welcher durch die Intensität der Molekularbewegungen desselben bedingt wird.

So wie durch Absorption von Licht- oder Wärmestrahlen die schwingenden Bewegungen der Moleküle verstärkt oder vermehrt werden und die Temperatur des absorbierenden Körpers erhöht wird, so muß umgekehrt durch Ausstrahlung, d. h. dadurch, daß die schwingenden Bewegungen der Moleküle eines Körpers den die Poren desselben erfüllenden Äther zu Schwingungen anregen, welche sich als leuchtende oder dunkle Strahlen nach außen fortpflanzen, die Temperatur des betreffenden Körpers, wenn derselbe nicht anderweitigen Ersatz erhält, erniedrigt werden, da die Übertragung an den Äther notwendig eine Verminderung der Intensität der schwingenden Bewegung der Moleküle zur Folge hat. Ungeändert kann die Temperatur des Körpers nur dann bleiben, wenn der Verlust und der Ersatz, welchen der Körper z. B. durch die Wärme erhält, die ihm durch Strahlung oder Leitung von anderen Körpern zugeführt wird, sich gegenseitig ausgleichen.

Während bei der Wärmestrahlung die Übertragung der Molekularbewegungen von einem Körper zum andern durch den Äther vermittelt wird, findet bei der Wärmeleitung eine unmittelbare [illegible]er Bewegung von einem Teile des

Körpers zu dem benachbarten Teile oder von einem Körper zu einem andern ihn berührenden Körper ohne Mitwirkung des Äthers statt.

Die einem Körper, sei es durch Leitung, sei es durch Strahlung, zugeführte Wärme kann, wie wir früher gesehen haben, nicht nur eine Temperaturerhöhung, sondern auch eine Änderung des Aggregatzustandes hervorbringen, und da nun die Wärme auf Bewegung beruht, so erklären die Physiker den Unterschied in den Aggregatzuständen der Körper durch eine verschiedene Lagerung der Moleküle, auf welche jene Bewegung bestimmend und ändernd einwirken kann. Sie stellen sich nämlich vor, daß die Moleküle eines jeden Körpers von einer Ätherhülle umgeben sind, und daß, während die Moleküle selbst einander und die Ätheratome anziehen, letztere sich im Gegenteil gegenseitig abstoßen. Überwiegt nun die Anziehung, so müssen die Moleküle eine stabile Gleichgewichtslage annehmen, um welche sie dann nur noch hin und her schwingen können, der Körper ist fest; halten sich beide Kräfte das Gleichgewicht, so genügt die Einwirkung der geringsten äußeren Kraft, um eine Verschiebung der einzelnen Teile hervorzubringen, der Körper ist flüssig; überwiegt die Abstoßung, so streben die einzelnen Teilchen auseinander, der Körper ist luftförmig. Nun leuchtet aber weiter ein, daß die Größe der Kraft, mit welcher die Moleküle eines festen Körpers einander anziehen, von der Entfernung abhängig ist, welche dieselben trennt, und daß eben diese Entfernung durch eine in die Molekülgruppen eintretende Bewegung wesentlich modifiziert werden kann. Wirken die anprallenden Ätherschwingungen, welche wir Wärme nennen, auf die Moleküle eines festen Körpers so energisch ein, daß letztere in fortschreitende Bewegung versetzt werden, so wird sich auch infolge des Stoßes, mit welchem dann ein Molekül auf ein anderes trifft, die gegenseitige Entfernung beider so weit vergrößern und dadurch die gegenseitige Anziehung so weit herabmindern können, daß nunmehr Anziehung und Abstoßung sich das Gleichgewicht halten. Der feste Körper ist in einen flüssigen verwandelt worden und wird in einen luftförmigen übergehen müssen, wenn durch weitere Zufuhr von Wärme die Geschwindigkeit der Moleküle derart gesteigert wird, daß dieselben aus dem Bereiche ihrer gegenseitigen Anziehung heraustreten und nun frei und unbehindert ihren weiteren Weg im Raume verfolgen können.

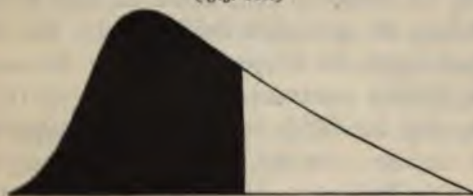
Zufolge des Vorstehenden befinden sich die Moleküle der gasförmigen Körper nach den verschiedensten Richtungen hin in geradlinig fortschreitender Bewegung. Hierbei wird es sehr häufig geschehen, daß die einzelnen Moleküle aneinanderprallen, und zwar werden dieselben dann nach den Gesetzen des Stoßes elastischer Körper (§. 37) von ihrer ursprünglichen Bahn abgelenkt und nun in der neuen Richtung weiter fortschreiten, bis wieder ein Zusammenstoß erfolgt. Ist ein Gas von festen Wänden eingeschlossen, so werden in gleicher Weise fortwährend Moleküle des Gases gegen die Wände anprallen. Es ist also der Druck eines Gases auf eine feste Wand als die Gesamtwirkung aller der Stöße aufzufassen, welche in dem betrachteten Augenblick von den Molekülen des Gases auf die Wand ausgeübt werden.

Hiernach erklären sich nun auch naturgemäß die Gesetze von Mariotte (§. 66) und Gay-Lussac (§. 231). Bei einer bestimmten Gasmenge muß nämlich, solange das Volumen und die Temperatur unverändert bleiben, in derselben Zeit immer die

gleiche Anzahl von Stößen auf eine Wand von gegebener Größe erfolgen, da die Moleküle sich sämtlich gleich schnell und nach den verschiedensten Richtungen hin bewegen. Wird aber dieselbe Gasmenge etwa auf den halben Raum zusammengepreßt, so hat nun die betrachtete Wand die doppelte Zahl von Stößen, also auch einen doppelt so großen Druck auszuhalten. Erhöht sich ferner die Temperatur des Gases, d. h. die lebendige Kraft seiner Moleküle, so erfolgen die Stöße jetzt häufiger und mit größerer Stärke; das Gas wird also bei unverändertem Volumen einen größeren Druck ausüben, falls aber der Druck der nämliche bleiben soll, sich ausdehnen müssen, indem hierdurch die Zahl der Stöße wiederum vermindert wird. (Siehe ferner auch §. 253, b, Anm.)

Wenn wir uns im vorhergehenden für die Identität von Licht und Wärme ausgesprochen, beide nur als verschiedene Äußerungen der nämlichen Grundursache erklärt haben, so dürfen wir doch nicht von der Intensität der einen Wirkung auf die Intensität der andern schließen. So stellt z. B. Fig. 343 die Wärmeverhältnisse des Sonnenspektrums dar, wie es durch ein Steinsalzprisma erhalten wird, welches nach §. 250 sowohl den leuchtenden als auch den dunklen Wärmestrahlen den Durchgang gestattet. Der schwarze Teil der Figur bedeutet den dunklen, der weiß gelassene den hellen Teil des Spektrums. Die Länge dieser Teile giebt die verhältnismäßige Länge der entsprechenden Teile in Wirklichkeit an; die Höhe aber ist der Intensität der Wärme an den verschiedenen Stellen des Spektrums proportional. Man sieht hieraus, daß das Maximum der Wärme in den dunklen Teil des Spektrums fällt, und daß die Gesamtwirkung dieses Teiles die des hellen ungefähr um das Dreifache übertrifft.

(Fig. 343.)



Nach den von Draper in Amerika (1872) angestellten Untersuchungen beruht die ungleiche erwärmende Kraft der verschiedenen brechbaren Strahlen im Sonnenspektrum (wenn auch nicht ausschließlich, doch zum großen Teile) darauf, daß die brechbareren Strahlen infolge der stärkeren Brechung weiter ausgebreitet, gleichsam mehr verdünnt werden.

Wenn das Vollmondslicht äußerst schwach erwärmend wirkt, so daß Melloni (1845) diese Wirkung nur vermittelst der empfindlichsten Apparate nachzuweisen vermochte, während wir bei demselben so wie bei dem 600 000 mal stärkeren Sonnenlichte zu lesen vermögen, so erklärt sich dies daraus, daß unser Auge ebensowohl sehr starkes Licht zu ertragen und bei demselben deutlich zu sehen vermag, als auch für sehr schwaches Licht noch hinreichend empfindlich ist, wenn es nicht durch stärkeres Licht gereizt wird. (Lord Rosse hat übrigens (1869) gefunden, daß sich die Mondwärme zur Sonnenwärme ungefähr wie: 1 : 80 000 verhält.)

§. 253, a. Quellen der Wärme. Äquivalenz von Wärme und Arbeit. Die hauptsächlichsten Quellen der Wärme sind die Sonnenstrahlen, chemische Prozesse, insbesondere der Oxydationsprozeß und mechanische Arbeit. Von der Erwärmung durch Sonnenstrahlen wird im §. 255 ausführlicher die Rede sein; von dem Oxydationsprozeß ist bereits oben (§. 83) gehandelt worden; von den verschiedenen Arten der mechanischen Arbeit, durch welche Wärme erzeugt wird, heben wir zunächst die Reibung hervor.

Wie allgemein bekannt, erhitzen sich Sägen, Bohrer und andere Werkzeuge beim Gebrauche infolge der Reibung; beim [illegible] Fahren auf der Eisenbahn kann die Erhitzung der Achsen sich bis zu einer [illegible]nden Höhe steigern; wilde Völker

machen sich durch Reibung zweier Holzstücke aneinander Feuer an; auch noch gegenwärtig wird die Entzündung von Phosphor- und anderen Zündhölzchen durch Reibung an einer rauhen Fläche bewirkt.

Auch durch Stoß und Druck wird nicht selten eine beträchtliche Temperaturerhöhung hervorgebracht. Münzen erwärmen sich beim Prägen; ein auf den Amboß gelegter Nagel wird heiß, wenn auf denselben kräftige Hammerschläge ausgeführt werden; bei dem früher mehr gebräuchlichen Feuerschlagen mit Stahl und Stein werden kleine Stücke Stahl durch den Stoß losgerissen und bis zum Glühen erhitzt. Bleikugeln gegen eine eiserne Platte abgeschossen erhitzen sich bis zum Schmelzen. — Bei dem pneumatischen Feuerzeuge (Fig. 344), welches aus einer an einem Ende offenen, am andern geschlossenen Röhre besteht, wird durch rasches Niederdrücken eines dicht anschließenden Kolbens die Luft stark zusammengepreßt und so sehr erhitzt, daß ein an dem unteren Ende des Kolbens angebrachtes Stückchen Schwamm sich entzündet. Ebenso erwärmt sich die Luft beim Komprimieren in der Flasche der Windbüchse.

(Fig. 344.)



In allen angeführten Beispielen ist eine Bewegung infolge eines zu überwindenden Widerstandes entweder vermindert (Reibung) oder ganz aufgehoben (Stoß und Druck) und hierdurch Wärme erzeugt worden. Diese Erscheinungen finden ihre Erklärung in der Annahme, daß die für unsere Wahrnehmung verschwundene Bewegung auf die Moleküle des erwärmten Körpers in der Art übertragen worden ist, daß die Intensität der Molekularbewegungen desselben eine Vergrößerung und folglich die Temperatur eine Erhöhung erfahren hat, da ja, wie wir im vorhergehenden §. angegeben haben, die Temperatur eines Körpers durch die Intensität der Schwingungen seiner Moleküle bedingt wird.

Nachdem schon einige Physiker zu der Vermutung gelangt waren, daß die Wärme auf Bewegung beruhe, hat zuerst 1842 Robert Mayer, praktischer Arzt zu Heilbronn in Schwaben, mit vollster Klarheit den Satz aufgestellt, daß sich mechanische Arbeit in Wärme umsetzen könne, indem die sichtbare Bewegung einer Masse als Ganzes in eine unsichtbare Molekularbewegung übergehe, welche wir als Wärme empfinden, und daß zwischen der erzeugten Wärmemenge und der aufgewandten Arbeit ein ganz bestimmtes unveränderliches Umsetzungsverhältnis bestehe.

Zur genauen Ermittelung desselben sind später von verschiedenen Forschern die sorgfältigsten Versuche angestellt worden, welche das Ergebnis geliefert haben, daß vermittelst eines Arbeitsaufwandes, durch welchen man eine Last von 1 kg um 424 m zu heben vermag, 1 kg Wasser von 0^0 um 1^0 erwärmt, also durch eine Arbeit von 424 mkg eine Wärmeeinheit (§. 247) erzeugt werden kann.

So wie sich durch mechanische Arbeit Wärme erzeugen läßt, so kann umgekehrt durch Wärme mechanische Arbeit verrichtet werden, wie wir dies augenfälligst an der Dampfmaschine sehen. Genaue Abmessungen haben übereinstimmend mit dem schon vorher Angeführten ergeben, daß durch den Aufwand einer Wärmeeinheit eine Arbeit von 424 mkg geleistet werden kann.

Das hier entwickelte Princip der Äquivalenz von Wärme und Arbeit, welches die Grundlage der mechanischen Wärmelehre bildet, können wir in den Satz zusammenfassen: **Mechanische Arbeit läßt sich in Wärme, Wärme in Arbeit umsetzen, und in dem einen wie in dem anderen Falle findet zwischen beiden Größen das nämliche Verhältnis statt. Dieses konstante Umsetzungsverhältnis (1 Wärmeeinheit = 424 mkg) wird das mechanische Äquivalent der Wärmeeinheit genannt.**

Dieses Gesetz bildet eine wesentliche Erweiterung des in §. 45 für die sichtbaren mechanischen Vorgänge ausgesprochenen Principes von der Erhaltung der Kraft. Bei der Reibung, beim Stoße und in zahlreichen anderen Fällen, wo scheinbar lebendige Kraft verloren geht, findet in Wirklichkeit nur eine Umwandlung von sichtbarer lebendiger Kraft bewegter Massen in eine unsichtbare Energieform statt, welche wir als Wärme bezeichnen. Dieselbe ist unsichtbare Bewegungsenergie der Moleküle, welche sich ihrerseits wiederum als lebendige Kraft auf sichtbare Massen übertragen kann.

Zur Erläuterung führen wir noch folgendes an: — Wenn ein rasch bewegter Zug durch Bremsen zum Stehen gebracht wird, sprühen von dem gehemmten Rade Funken auf, indem die Bewegung des Zuges, also die von den Dämpfen verrichtete Arbeit durch die Reibung aufgehoben und in Wärme umgesetzt wird. Die Wärme hat dem Zuge seine Bewegung erteilt, und die gehemmte Bewegung ruft wieder Wärme hervor. — Wenn man die von einer Dampfmaschine verrichtete Arbeit ermittelt und dann mit Hülfe des mechanischen Äquivalents der Wärme die dieser Arbeit gleichwertige Wärmemenge bestimmt, so zeigt sich, daß letztere stets geringer ist als diejenige Wärmemenge, welche zur Bildung der Dämpfe in der Maschine verbraucht wurde. Berücksichtigt man nun aber noch die Wärme, welche durch die Reibung und die nicht zu vermeidenden Stöße der einzelnen Maschinenteile aneinander entsteht, ferner die Wärme, welche die Wände des Kessels, des Cylinders, der Verbindungsröhren u. s. w. durch Leitung oder Strahlung an die Umgebung abgeben, und schließlich die Wärme, welche bei der Verdichtung des Dampfes im Kondensator wiedergewonnen wird, so ist die Gesamtsumme der angeführten Wärmemengen gemäß dem obigen Gesetze genau gleich der Wärme, welche in der Maschine für die Umwandlung des Wassers in Dämpfe verbraucht worden ist.

Genaue Versuche zur Bestimmung des mechanischen Äquivalents der Wärme sind zuerst von dem Engländer Joule (1843—50) ausgeführt worden. Wir geben hierüber das Folgende an:

1) Zwei auf einander liegende eiserne Platten, von denen die untere fest stand, während die obere um eine senkrechte Achse gedreht werden konnte, befanden sich in einem mit Quecksilber angefüllten Gefäße. Bei einer Drehung der oberen Platte, welche noch vermittelst einer Hebelvorrichtung durch Gewichte auf die untere Platte gedrückt wurde, war hier die Reibung der beiden Platten aneinander zu überwinden, und es setzte sich dabei die erforderliche Arbeit in Wärme um, welche auf das die Platten umgebende Quecksilber überging und daher aus der Temperaturerhöhung und dem Gewichte des Quecksilbers bestimmt werden konnte. Die Drehung wurde mittelst zweier niedersinkender Gewichte bewirkt, indem zwei Seile um die aus dem Gefäße hervorragende Achse geschlungen waren, welche über zwei feste Rollen gingen und an ihren Enden die Gewichte trugen. Die Größe der geleisteten Arbeit ergab sich aus der Größe der Gewichte und der Strecke, um welche sie bei dem Versuche niedersanken.

2) In einem Gefäße, welches wiederum mit einer Flüssigkeit (Wasser oder Quecksilber) gefüllt war, wurde ein Schaufelrad in Drehung gesetzt und zwar auf die gleiche Weise, wie beim vorherigen Versuche, mittelst fallender Gewichte. Die aufgewendete Arbeit ging hier infolge der Reibung des Schaufelrades an der Flüssigkeit in Wärme über, welche sich aus der Temperaturerhöhung und dem Gewichte der Flüssigkeit ermitteln ließ.

3) In einem starken metallenen Gefäße, welches in einem mit Wasser gefüllten Behälter stand, wurde Luft vermittelst einer Verdichtungspumpe sehr stark (bis zu mehr als 20 Atmosphären) zusammengepreßt. Aus der Erwärmung des Wassers ergab sich die Wärmemenge, welche durch die Verdichtung der Luft frei wurde; diese Wärme wurde mit der zur Verdichtung der Luft gebrauchten Arbeit verglichen.

Die hier angeführten Versuche, sowie noch andere von Joule und später von verschiedenen Physikern (Hirn u. a.) angestellte Versuche haben übereinstimmend als mechanisches Äquivalent der Wärme (im Mittel) die oben angeführte Zahl von 424 mkg ergeben.

Über die Berechnung des Äquivalents aus der specifischen Wärme der Luft (nach Mayer) siehe den folg. §.

§. 253, b. Fortsetzung. Erklärung der hauptsächlichsten Wärmewirkungen. Zufolge des im vorig. §. näher erörterten Gesetzes der Äquivalenz von Wärme und Arbeit erklären sich nun die meisten Wärmeerscheinungen als eine Umwandlung von Wärme in Arbeit und von Arbeit in Wärme. Wir führen in dieser Hinsicht insbesondere noch das Folgende an:

Bei der Erwärmung eines Körpers bewirkt nur ein Teil der zugeführten Wärme eine Erhöhung der Temperatur, ein anderer Teil wird zur Vergrößerung des Volumens verbraucht. Der erstere Teil vermehrt, wie wir schon gesehen haben, die lebendige Kraft der in Bewegung befindlichen Körpermoleküle, geht also auf die Moleküle des Körpers als unsichtbare Bewegungsenergie über; der andere Teil dagegen leistet Arbeit, indem er die gegenseitige Entfernung der Moleküle vergrößert und dabei die Anziehungskraft der Moleküle überwindet. In gleicher Weise wird die zugeführte Wärme zur Verrichtung von Arbeit verwandt, wenn sie den Aggregatzustand des Körpers verändert; denn bei dem Übergange eines Körpers aus dem festen in den flüssigen und aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand nehmen die Moleküle des Körpers eine freiere gegenseitige Lage ein, und es dient dementsprechend die Schmelz- und Verdampfungswärme ebenfalls dazu, die gegenseitige Anziehung der Moleküle zu überwinden. Geht die Vergrößerung des Volumens oder die Änderung des Aggregatzustandes vor sich, ohne daß dem Körper von außen Wärme zugeführt wird, wie dies z. B. der Fall ist, wenn ein fester Körper sich in einer Flüssigkeit auflöst oder ein flüssiger Körper verdunstet, so wird die zu dieser Arbeit erforderliche Wärme dem Körper und seiner Umgebung entzogen. Es erklärt sich so die Abkühlung, von welcher die eben besprochenen Vorgänge begleitet sind.

Die Wärme, welche zur Volumvergrößerung eines Körpers, zur Änderung seines Aggregatzustandes gedient hat, ist nun zwar als solche für unsere Wahrnehmung verschwunden, aber in Wirklichkeit nicht vernichtet, sondern nur in eine andere Form von Arbeitsvermögen übergeführt worden, nämlich in unsichtbare Energie der Lage, in Spannungsenergie der Moleküle. Dieselbe Wärmemenge, welche dazu gedient hat, die Moleküle des Körpers in eine größere Entfernung und in eine gegenseitig freiere Lagerung zu bringen und so die Spannungsenergie derselben zu vermehren, kommt,

wie schon an andern Stellen gezeigt wurde, in dem ursprünglichen Betrage wieder zum Vorschein, sobald der Körper in seinen früheren Zustand zurückkehrt.

Bei chemischen Zersetzungen, welche infolge von Erwärmung eintreten, bewirkt die zugeführte Wärme eine Trennung der sich anziehenden Elemente, verrichtet also wiederum Arbeit, wobei sie in Spannungsenergie der Elemente umgewandelt wird. Umgekehrt entwickelt sich Wärme, wenn die getrennten Elemente wieder zu einer chemischen Verbindung zusammentreten, indem sich bei der Vereinigung der Elemente die in letzteren aufgespeicherte Spannungsenergie in Bewegungsenergie der die neue Verbindung bildenden Moleküle umsetzt.

Die Erklärung der Wärmestrahlung und Wärmeleitung ist schon in §. 252 gegeben worden.

Wenn oben gesagt wurde, daß ein Körper zur Vergrößerung seines Volumens Wärme verbraucht, um die gegenseitige Anziehung seiner Moleküle zu überwinden, so ist dabei stillschweigend nur an die festen und flüssigen Körper gedacht worden; denn bei den luftförmigen Körpern (ein vollkommenes Gas vorausgesetzt) findet ja eine gegenseitige Anziehung der Moleküle überhaupt nicht statt. Andererseits haben wir oben zunächst gar nicht berücksichtigt, daß für die Ausdehnung eines Körpers auch noch Wärme erforderlich sein kann, um einen äußeren Widerstand zu überwinden. Befindet sich z. B. der Körper, wie dies für gewöhnlich der Fall ist, in der Luft oder in einem anderen Gase, so ist bei der Volumvergrößerung auch noch der auf dem Körper lastende äußere Druck des Gases zurückzuschieben. Diese Arbeit ist nun zwar bei den festen und flüssigen Körpern, welche ihr Volumen nur schwer und nur sehr wenig ändern, so gering, daß die hierzu nötige Wärmemenge verschwindend klein ausfällt. Anders aber liegt die Sache bei den gasförmigen Körpern, welche sich leicht und bedeutend ausdehnen. Bei diesen ist für eine Volumvergrößerung überhaupt nur in soweit Wärme erforderlich, als dabei ein äußerer Druck überwunden werden muß. — Allgemein ergiebt sich aus den vorhergehenden Erörterungen, daß die Wärme, welche bei der Erwärmung eines Körpers verbraucht wird, aus drei Teilen bestehen kann: Ein Teil dient zur Temperaturerhöhung, ein anderer zur Überwindung der Molekularanziehung, ein dritter zur Überwindung eines äußeren Druckes. Indem man sich die betreffenden Wärmemengen entsprechend dem Gesetze des vorig. §. durch Arbeitseinheiten ausgedrückt denkt, bezeichnet man die ersten beiden Teile zusammengenommen als innere Arbeit, den dritten Teil als äußere Arbeit.

Die im vorhergehenden angestellten Betrachtungen geben uns nun auch, wenn wir die ungleiche Größe der Kohäsion bei den festen, flüssigen und luftförmigen Körpern berücksichtigen, leicht eine Erklärung dafür, daß bei der nämlichen Temperaturerhöhung die Volumvergrößerung für feste Körper nur gering, für flüssige etwas größer, dagegen für luftförmige Körper bedeutend ist. Es erklärt sich ferner, daß die Ausdehnung für feste und flüssige Körper bei höherer Temperatur im allgemeinen etwas größer ausfällt, da sich die Moleküle bei höherer Temperatur schon in größeren Abständen von einander befinden und infolgedessen weniger stark anziehen, daß aber im übrigen die verschiedenen festen und flüssigen Körper wegen der ungleichen Größe ihrer Kohäsion sich auch ungleich stark ausdehnen. Andererseits ist es erklärlich, daß ein (vollkommenes) Gas — vorausgesetzt, daß der Druck, unter welchen es steht, unverändert bleibt — bei wachsender Temperatur sich gleichmäßig ausdehnt; denn da bei der Ausdehnung des Gases keine Molekularanziehung, sondern nur ein unveränderlicher äußerer Druck überwunden werden muß, so ist für eine gleiche Vergrößerung des Volumens auch jedesmal die gleiche Arbeit, d. h. die gleiche Wärmemenge erforderlich. Aus demselben Grunde ist auch die Größe der Ausdehnung (§. 231) für alle Gase die nämliche. Überhaupt erfolgt hiernach die Ausdehnung eines (vollkommenen) Gases proportional dem wahren Gange der Wärme.

Zufolge des Obigen hat ein Gas, wenn es sich ausdehnt, dabei keine innere Arbeit zu verrichten; dagegen muß es eine mehr oder weniger große äußere Arbeit leisten, je nach dem Druck, unter welchem es sich befindet. Wenn man Luft in einem durch einen Hahn verschließbaren Gefäße verdichtet und dann die verdichtete Luft durch Öffnen des Hahns in Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit ausströmen läßt, so wird die sich ausdehnende Luft käl[illegible]en entgegenstehenden Druck der Atmosphäre

zurückschiebt und dazu Wärme verbraucht; desgleichen kühlt sich die Luft unter dem Rezipienten der Luftpumpe bei wiederholten Kolbenzügen ab, wie sich mit einem empfindlichen Thermometer nachweisen läßt. (Bei dem letzteren Versuche könnte es scheinen, als ob die sich ausdehnende Luft keine Arbeit leistete, indem ja der Kolben der Pumpe durch eine äußere Kraft bewegt wird; doch ist zu beachten, daß die sich ausdehnende Luft dabei zugleich stets gegen den Kolben drückt und so in Wirklichkeit der äußeren Kraft einen Teil der Arbeit abnimmt.) — Wenn Luft sich ausdehnt, ohne dabei eine äußere Arbeit zu verrichten, so findet auch kein Wärmeverbrauch, also keine Temperaturerniedrigung statt. So kühlt sich z. B. die in einem Gefäße verdichtete Luft nicht ab, wenn man sie in ein anderes, vorher luftleer gemachtes Gefäß überströmen läßt.

Die beträchtliche Temperaturerniedrigung, welche durch Ausdehnung stark verdichteter Luft hervorgerufen werden kann, findet nützliche Anwendung in besonderen Kälteerzeugungsmaschinen, welche zur Kühlhaltung von Vorratsräumen, zur Konservierung von Fleisch u. a. m. gebraucht werden.

Wird ein Gas erwärmt, während es sich etwa in einem allseitig geschlossenen Gefäße befindet, sich also nicht ausdehnen kann, so dient die zugeführte Wärme lediglich zur Temperaturerhöhung; dehnt sich das Gas aber gleichzeitig aus, so hat die Wärme auch noch Arbeit zu leisten, indem der äußere Druck, unter welchem das Gas steht, zurückgeschoben werden muß. Es ist dementsprechend, wie schon in §. 247 näher erörtert worden ist, die specifische Wärme der Gase bei konstantem Druck größer als die specifische Wärme bei konstantem Volumen und zwar um diejenige Wärmemenge, welche für die Arbeit der Ausdehnung verbraucht wird.

Aus dem Unterschiede der specifischen Wärme der Luft bei konstantem Druck und bei konstantem Volumen und der diesem Unterschiede entsprechenden Arbeit, welche für die Ausdehnung bei konstantem Druck zu leisten ist, läßt sich auch die Größe des mechanischen Äquivalents der Wärme ableiten, wie das Folgende näher zeigt: — Ein Cylinder, in welchem sich ein luftdicht schließender Kolben auf und nieder bewegen läßt, enthalte genau 1 cbm Luft von 0° und 760 mm Druck; die Grundfläche des Cylinders habe ferner die Größe von 1 qm, sodaß also die Höhe der abgeschlossenen Luftsäule gerade 1 m beträgt. Wird nun die Luft um 1° erwärmt, so dehnt sie sich bei unverändertem Druck (nach §. 231) um $^1/_{273}$ aus; in unserem Falle nimmt mithin die Höhe der abgeschlossenen Luftsäule um $^1/_{273}$ m zu. Auf diesem Wege ist der äußere Luftdruck zurückzuschieben, welcher auf dem Kolben, also auf 1 qm lastet. Nun ist der Druck der Luft bei 0° und 760 mm auf 1 qcm (nach §. 60) = 1,03 kg, auf 1 qm = 10 000 qcm, also = 10 300 kg. Die zur Ausdehnung des 1 cbm Luft geleistete Arbeit ist demnach

$$^1/_{273} \cdot 10\,300 = 37{,}7 \text{ mkg}.$$

Ferner ist (nach §. 231) die specifische Wärme der Luft bei konstantem Druck = 0,237, bei konstantem Volumen = 0,168, der Unterschied beider mithin = 0,069. Dies ist die Wärmemenge, welche 1 kg Luft bei der Temperaturerhöhung um 1° für die Ausdehnung verbrauchen würde. Nun ist das Gewicht von 1 cbm Luft bei 0° und 760 mm Druck (nach §. 74) = 1,29 kg. Die für die Ausdehnung des 1 cbm Luft verbrauchte Wärmemenge beträgt also

$$0{,}069 \cdot 1{,}29 = 0{,}089 \text{ Wärmeeinheiten}.$$

Eine Wärmeeinheit leistet demnach eine Arbeit von

$$\frac{37{,}7}{0{,}089} = 424 \text{ mkg}.$$

Auf dem hier angegebenen Wege ist das mechanische Äquivalent der Wärme schon von Mayer (freilich mit weniger genauen Zahlen und daher nur angenähert) berechnet worden.

§. 254 (253, b). **Princip von der Erhaltung der Kraft.** Das im vorhergehenden §. erörterte Gesetz der Äquivalenz von Wärme und Arbeit ist nur ein besonderer Fall des allgemeinen (von Mayer 1842 schon angedeuteten und von Helmholtz 1847 zuerst klar ausgesprochenen) Princips von der Erhaltung der Kraft. Dieses Princip, welches in der Erfahrung überall seine Bestätigung findet, sagt aus, daß ebenso wie nirgends in der Welt Materie vernichtet werden kann, auch niemals ein Verlust an Kraft (im Sinne von Arbeit, Energie), sondern nur eine Umsetzung von einer Form in eine andere stattfindet.

Ganz ebenso wie die Wärme sind dem genannten Principe zufolge auch die anderen Naturkräfte wie Schall, Licht, Elektricität, Magnetismus, chemische Verwandtschaft, als eigentümliche Arten der Energie aufzufassen, indem unter Energie allgemein die Fähigkeit, Arbeit zu leisten, verstanden wird. Im Gegensatz zu der lebendigen Kraft und der Spannkraft sichtbarer Massen bilden dieselben besondere Formen unsichtbarer Energie. Insbesondere gehören neben der Wärme Licht und Schall zur unsichtbaren Bewegungsenergie; desgleichen ist der elektrische Strom als eine solche aufzufassen, wenn uns auch die Art ihrer Bewegung noch unbekannt ist. Dagegen bilden elektrische Spannung, magnetische Anziehung und Abstoßung, chemische Verwandtschaft unsichtbare Energie der Lage. So bildet eine Gewitterwolke eine Ansammlung von elektrischer Spannungsenergie, welche sich als Blitz in Licht und Wärme umsetzt und bei den zerstörenden Wirkungen desselben mechanische Arbeit leistet; Schießpulver enthält unsichtbare chemische Spannkraft, welche bei der Entzündung des Pulvers zunächst als Wärme frei wird und als solche durch Ausdehnung der Pulvergase, Fortschleudern eines Geschosses, Temperaturerhöhung, Erzeugung von Licht und Schall eine bestimmte Menge Arbeit verrichten kann; ebenso findet sich in der Steinkohle und dem Holze chemische Spannungsenergie, welche durch Verbrennung ausgelöst und in Wärme und Licht umgewandelt wird.

Diese verschiedenen sichtbaren und unsichtbaren Energieformen der Bewegung und der Lage können auf die mannigfaltigste Weise ineinander übergeführt werden: eine Art von lebendiger Kraft vermag sich in eine andere zu verwandeln oder in Spannkraft umzusetzen, Spannkraft in lebendige Kraft überzugehen, ohne daß hierbei ein Verlust oder Gewinn an Energie stattfindet. — In einer dynamoelektrischen Maschine entsteht durch die mechanische Arbeit, welche geleistet werden muß, um den von den Magnetpolen der Bewegung des Leiters entgegengesetzten Widerstand zu überwinden, ein elektrischer Strom. Dieser Strom wird zunächst durch Überwindung von Leitungswiderständen zum Teil in Wärme umgewandelt; andererseits kann er beim Durchgange durch eine chemische Verbindung Arbeit verrichten, indem er die Bestandteile trennt, z. B. Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt; dabei wird er in den Bestandteilen als chemische Spannkraft angesammelt, welche wiederum bei der Vereinigung derselben, der Verbrennung des Wasserstoffs, in Form von Wärme zum Vorschein kommt; ferner vermag der Strom in den elektrischen Lampen Licht und Wärme zu erzeugen und bei der Durchführung durch eine zweite dynamoelektrische Maschine selbst wieder in sichtbare lebendige Kraft überzugehen, indem er die zweite Maschine in Bewegung setzt. Welche verschiedenartigen Arbeiten nun auch der elektrische Strom auf seinem Wege leisten mag, stets ist nach dem obigen Principe die Summe der Arbeiten, durch deren Verrichtung derselbe verbraucht wird, gleich der zu seiner Erregung erforderlichen Arbeit.

So beruhen überhaupt alle physikalischen Erscheinungen auf einer stetigen Veränderung und Umwandlung der vorhandenen Energieformen, ohne daß dabei die Gesamtheit der Energie eine Vermehrung oder Verminderung erfährt. Demnach läßt sich das Princip von der Erhaltung der Kraft auch in dem Satze aussprechen: *Die Energie des Weltalls ist*

Mit Ausnahme der Arbeit, welche durch die Schwere und die Anziehung von Sonne und Mond geleistet wird, hat beinahe der gesamte Energievorrat auf der Erde seinen Ursprung in der Sonnenwärme. Die mannigfaltigen Strömungen in der Atmosphäre werden, wie wir §. 234 und 235 gesehen haben, durch die Erwärmung der Erdoberfläche von seiten der Sonne hervorgebracht. — Die lebendige Kraft der Sonnenstrahlen hebt durch Verdunstung das Wasser von der Oberfläche des Ozeans empor; indem dasselbe dann als Regen oder Schnee niederstürzt, in Bächen und Flüssen zum Ozean zurückkehrt, setzt sich die gesamte ursprünglich von der Sonne erhaltene Spannungsenergie der Wolken in die lebendige Kraft bewegter Wassermassen um und leistet als solche die mannigfaltigsten Arbeiten. — Auch die Entwickelung der Pflanzenwelt ist hauptsächlich ein Werk der Sonnenenergie. Durch das Sonnenlicht wird in den Blättern der Pflanzen aus der Luft aufgenommene Kohlensäure in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt, von denen der erstere zum Aufbau des Pflanzenkörpers dient, während der letztere ausgeatmet wird. Die bei dieser Zersetzung geleistete Arbeit der Sonnenstrahlen geht in chemische Spannkraft der von einander getrennten Bestandteile, Kohlenstoff und Sauerstoff, über. So enthält jede Pflanze die Sonnenenergie, welche sie zu ihrer Entwickelung gebraucht hat, in sich aufgespeichert; so bilden die aus dem üppigen Pflanzenwuchse früherer Zeiten entstandenen Steinkohlenlager gewaltige Magazine von chemischer Spannungsenergie, welche im Verlaufe der Jahrtausende durch allmähliche Umwandlung von Bewegungsenergie der Sonne entstanden ist. Diese in dem Kohlenstoff angesammelte Sonnenarbeit kommt wieder zum Vorschein beim Verbrennen der Steinkohle und des Holzes. — Die Arbeiten, welche durch Dampfmaschinen verrichtet werden, sind lediglich eine Folge der Sonnenthätigkeit, indem die Wärme der verbrennenden Steinkohlen sich in die Spannkraft des Wasserdampfes umwandelt und diese den Kolben der Maschine in Bewegung setzt. Ebendies gilt von dem elektrischen Strome, mag derselbe nun in einer dynamoelektrischen Maschine oder in einer galvanischen Batterie erzeugt worden sein; denn im ersteren Falle ist zum Betriebe ein Motor erforderlich, welcher seine bewegende Kraft der Sonne verdankt; im anderen Falle entsteht der Strom durch Oxydierung des Zinks, welches erst aus Erzen mit Hülfe von Kohle in den Schmelzöfen reduziert worden ist. — Da Tiere und Menschen sich von Stoffen ernähren, welche ursprünglich aus dem Pflanzenreiche stammen, so beruht überhaupt der Lebensprozeß der ganzen organischen Natur wesentlich auf der strahlenden Energie der Sonne. Wie bei einer Dampfmaschine die Spannkraft des Kohlenstoffs in Wärme und Bewegung umgesetzt wird, so erfährt die in den Nahrungsmitteln aufgespeicherte Spannungsenergie in dem tierischen Körper eine ähnliche Umsetzung, indem die Nährstoffe, in Blut umgewandelt, auf ihrem Wege durch die Lungen den Sauerstoff der Luft aufnehmen und sich oxydieren. Die bei dieser Oxydation erzeugte Wärme wird teils zur Erwärmung des Körpers, teils aber auch beim Gebrauche der Muskeln zu mechanischer Arbeit verwandt. Wie diese Umwandlung nach Willkür vermittelst des Gehirns und der Nerven bewirkt wird, ist uns verborgen. — Sucht man in ähnlicher Weise, wie im vorhergehenden geschehen, den Ursprung der auf der Erde überhaupt vorkommenden Energieformen auf, so zeigt sich, daß nahezu der ganze Arbeitsvorrat sowohl der anorganischen wie organischen Natur in letzter Linie von der Sonne herstammt. Dieselbe sendet der Erde fortwährend in Form von strahlender Wärme (und Licht) Arbeit, welche im Laufe der Zeiten die mannigfaltigsten Umsetzungen in die verschiedenartigen Energieformen erleidet. Insbesondere wird sie in den Pflanzen als Spannkraft angesammelt, während sie in den Tieren wiederum eine Umwandlung in lebendige Kraft erfährt.

Welche Reihe von Veränderungen nun die Sonnenenergie auf der Erde auch durchlaufen mag, in den meisten Fällen tritt sie schließlich wiederum als Wärme auf. Dies zeigt sich deutlich an den Beispielen der vorhergehenden §. Wir heben hier nur hervor, daß die Bewegungen auf der Erde durch Reibung, Stoß, überhaupt durch Überwindung von Widerständen mehr oder weniger schnell aufgehoben und dabei in Wärme umgesetzt werden. Diese Wärme aber wird zum größten Teil von der Erde fort in den Weltraum ausgestrahlt. Somit bilden die Erscheinungen auf der Erde eine fortwährende Umwandlung von strahlender Sonnenwärme durch eine Reihe von Energieformen hindurch wiederum in strahlende Wärme. Über die Umsetzungen und den Verbleib dieser strahlenden Wärme, welche die Erde in den Weltraum sendet, wissen wir bislang nichts Sicheres.

F. Verteilung der Wärme an der Erdoberfläche.

§. 255 (254). **Erwärmung durch die Sonnenstrahlen.** Die Verschiedenheiten der Temperatur an der Oberfläche der Erde sind hauptsächlich eine Folge der ungleichen Wirkung der Sonnenstrahlen. Die Erwärmung eines Körpers durch die Sonnenstrahlen hängt zunächst von der Richtung derselben ab (vergl. §. 188). Ein Körper wird durch die Sonnenstrahlen am stärksten erwärmt, wenn dieselben seine Oberfläche senkrecht treffen; die bewirkte Erwärmung ist um so geringer, je spitzer der Winkel ist, welchen die Sonnenstrahlen mit der Oberfläche des Körpers bilden. — Hinsichtlich der hier in Betracht kommenden Verhältnisse aus der mathematischen Geographie siehe §. 272 und 278.

Von wesentlichem Einflusse auf die durch die Sonnenstrahlen bewirkte Erwärmung eines Körpers ist auch die Beschaffenheit seiner Oberfläche, insbesondere die Farbe. Schwarze oder dunkel gefärbte Körper erhitzen sich in den Sonnenstrahlen stärker als weiße oder hell gefärbte. So belästigt uns bekanntlich im Sommer die Sonnenhitze mehr, wenn wir dunkle als wenn wir helle Kleider tragen. Ein Thermometer, dessen Kugel man geschwärzt hat, steigt in den Sonnenstrahlen bedeutend höher als ein Thermometer mit heller Oberfläche, während beide im Schatten die nämliche Temperatur zeigen. Ebenso wird beschmutzter Schnee bei weitem rascher durch die Sonnenstrahlen geschmolzen als der reine Schnee von blendend weißer Farbe. Auf gleichem Grunde beruht auch die Erscheinung, daß im Winter der Schnee bei heiterem Wetter zuerst um Baumstämme und Steine, welche aus dem Schnee hervorragen, geschmolzen wird, indem diese Körper vermöge ihrer dunkeln Farbe sich stärker als der weiße Schnee durch die Sonnenstrahlen erwärmen.

Die Sonnenstrahlen wirken auf hohen Bergen, obschon hier aus Gründen, welche wir weiter unten (§. 257) kennen lernen werden, eine niedrigere Temperatur herrscht, stärker erwärmend als im Thale. Indem nämlich die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurchgehen, wird ein um so größerer Teil absorbiert, je größer der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurücklegen, und durch je dichtere Schichten derselben sie hindurchgehen.

Nach Pouillet verlieren die senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre bei völlig heiterem Wetter ein Viertel ihrer Stärke.

Franklin in Amerika breitete an einem heiteren Tage verschieden gefärbte Tuchlappen auf einer Schneefläche aus. Ein schwarzer und ein dunkelblauer Lappen sanken am raschesten in den Schnee ein; die übrigen um so langsamer, je heller ihre Farbe war; an einem weißen Lappen war gar kein Einsinken zu bemerken. — Dagegen scheint die Farbe auf die Absorption und Emission der dunklen Wärmestrahlen nur geringen oder keinen Einfluß auszuüben. — Nach Melloni absorbiert von dunklen Wärmestrahlen, welche von Körpern ausgehen, deren Temperatur zwischen 0° und 100° liegt, Bleiweiß ebensoviel als Kienruß. Dasselbe gilt auch vom Wasser.

§. 256 (255). **Temperatur der Luft.** Zur Beobachtung der Lufttemperatur hängt man ein Thermometer im Freien so auf, daß es durch Leitung die Temperatur der umgebenden Luft annehmen kann, ohne durch die strahlende Wärme der Sonne und anderer Körper beeinflußt zu sein. Zu diesem Zweck muß es sich zunächst bei freiem Luftzutritt ir ... n befinden, sodann aber auch vor *der Wärmestrahlung* benachbarter Ge ... sondere von seiten umstehender

von der Sonne beschienener Gebäude, sowie des Erdbodens, geschützt sein; ferner muß das Thermometer trocken gehalten werden, da sonst die Verdunstungskälte auf den Stand desselben einwirken würde.*) Beobachtet man ein solches Thermometer während eines Tages möglichst oft in gleichen Zeitintervallen, etwa alle ganzen oder halben Stunden, und nimmt man aus sämtlichen Beobachtungen das arithmetische Mittel, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages.

Durch Beobachtungen, welche in der angegebenen Art mehrere Monate hindurch an verschiedenen Orten fortgesetzt wurden, hat sich ergeben, daß in unseren Gegenden die geringste Tageswärme gegen Sonnenaufgang, die größte Tageswärme in den kürzesten Tagen ungefähr um 1 Uhr, in den längsten Tagen zwischen 2 und 3 Uhr stattfindet. Diese Regeln gelten jedoch nur im allgemeinen; veränderte Windrichtung, atmosphärische Niederschläge u. dergl. können dieselben für einzelne Tage ganz ungiltig machen.

Daß die größte Tageswärme nicht gerade auf den Mittag fällt, wo die Sonne am höchsten steht, und also die Strahlen derselben am kräftigsten wirken, sondern erst später eintritt, erklärt sich leicht daraus, daß mit der Wärmeaufnahme zugleich auch eine Wärmeabgabe durch Ausstrahlung Hand in Hand geht. Da nun die Erdoberfläche und die Luft durch die Sonnenstrahlen sich nur allmählich erwärmen und dementsprechend auch die Wärmeausstrahlung nur allmählich zunimmt, so wird auch über den Mittag hinaus noch die Einnahme die Ausgabe übertreffen, die Temperatur also steigen, bis einige Zeit später die Ausgabe mit der Einnahme ins Gleichgewicht kommt, und die Tagestemperatur ihr Maximum erreicht hat. Aus gleichen Gründen fällt, wie wir sogleich sehen werden, die größte oder geringste Jahreswärme nicht mit den längsten und kürzesten Tagen zusammen, sondern tritt in der Regel erst später ein.

Wenn man aus den mittleren Temperaturen aller Tage eines Monats das arithmetische Mittel nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monats und ebenso aus dem arithmetischen Mittel der mittleren Temperaturen aller Monate eines Jahres die mittlere Temperatur des Jahres. Aus mehrjährigen, an dem nämlichen Orte angestellten Beobachtungen ergiebt sich endlich, wenn man das arithmetische Mittel der mittleren Temperaturen einer längeren Reihe von Jahren nimmt, die mittlere Temperatur des Ortes.

In unseren Gegenden ist der Januar der kälteste, der Juli der heißeste Monat: die mittlere Temperatur des Aprils ist etwas niedriger, die des Oktobers etwas höher als die mittlere Temperatur des Jahres. Auch diese Regeln gelten nur im allgemeinen; einzelne Jahre weichen von denselben oft nicht unbedeutend ab. Nicht alle Jahre haben eine gleiche mittlere Temperatur; einzelne Jahre können von der wahren mittleren Ortstemperatur um 1° bis 2° abweichen.

---

*) Wenn an verschiedenen Stellen der nämlichen Stadt gleichzeitig angestellte Beobachtungen der Lufttemperatur vermittelst der gewöhnlichen an der Außenseite eines Fensters angebrachten Thermometer erheblich von einander abweichen, so hat dies gewöhnlich einmal in der Mangelhaftigkeit der Instrumente, sodann aber besonders in der Art und Weise der Aufhängung seinen Grund. (Siehe auch unten die Anm.)

Die täglichen Temperaturdifferenzen sind im Sommer größer als im Winter; die Größe der jährlichen Temperaturdifferenzen nimmt mit der geographischen Breite zu. Selbst in sehr hohen Breiten (Stockholm, Petersburg) übertrifft die Hitze im Sommer häufig um mehrere Grade sogar die mittlere Wärme am Äquator (28°), was sich leicht aus der großen Länge der Tage in höheren Breiten während des Sommers erklärt.

Die täglichen und jährlichen Temperaturdifferenzen sind im Innern großer Kontinente beträchtlicher als in der Nähe des Meeres. Als die erste Ursache dieser Verschiedenheit führen wir die sehr ungleiche specifische Wärme des Wassers und des Erdbodens (vergl. oben §. 247) an, vermöge deren sich das Wasser bei weitem langsamer als der Erdboden unter gleichen Umständen erwärmen oder abkühlen muß. Zweitens bewirken auch die in dem Meere beständig stattfindenden Strömungen, daß dasselbe das ganze Jahr hindurch eine mehr gleichmäßige Temperatur beibehält, in mittleren Breiten daher während des Sommers kälter, während des Winters aber wärmer ist als das benachbarte Festland.

Man unterscheidet hiernach Insel- oder Küstenklima, welches sich durch warme Winter und kühle Sommer, und Kontinentalklima, welches sich durch heiße Sommer und kalte Winter charakterisiert. Während die Nähe der Meeres die Hitze des Sommers und die Kälte des Winters verringert, erhöht oder erniedrigt dieselbe in den mittleren Breiten die mittlere Temperatur des Jahres nur unbedeutend. In den niederen Breiten wird dagegen die mittlere Jahreswärme durch die Nähe des Meeres verringert, in den höheren Breiten vergrößert wegen der im Meere beständig stattfindenden Strömungen, welche das wärmere Wasser aus den niederen Breiten den höhern, das kältere Wasser aus den höhern Breiten den niedern zuführen. Es besitzt daher infolge des Übergewichts des Festlandes auf der nördlichen, des Meeres auf der südlichen Erdhälfte, die erstere in den niederen Breiten etwa bis 40°, die letztere in den höhern Breiten (wie neuere Untersuchungen gezeigt haben) eine größere mittlere Jahreswärme.

Die Bretagne, die Küsten der Normandie, England und Irland zeichnen sich durch äußerst milde Winter, aber auch durch eine geringe Wärme und den häufig in Nebel gehüllten Himmel ihrer Sommer aus. — Auch im nordwestlichen Deutschland übt die Meeresnähe nicht unerheblichen Einfluß auf die klimatischen Verhältnisse aus. So hat z. B. Münster bei ungefähr gleicher Jahreswärme mit Dresden um 2° mildere Winter, aber auch um 2° kühlere Sommer.

Die richtige Aufstellung eines Thermometers zur Beobachtung der Lufttemperatur ist mit großen Schwierigkeiten verknüpft, da es fast unmöglich ist, den Einfluß der Ein- und Ausstrahlung seiner Umgebung gänzlich zu vermeiden. Man erreicht eine den hauptsächlichsten Anforderungen allenfalls genügende Aufhängung, wenn man das Thermometer in einem kleinen Gehäuse mit jalousieartig durchbrochenen Wänden vor dem Fenster eines ungeheizten Zimmers, an der Nordseite eines Gebäudes, einem freien Platze gegenüber, in einer Entfernung von mindestens 30 cm von der Wand und mehrere Meter über dem Boden aufhängt und durch seitliche Schutzwände die Strahlen der auf- und untergehenden Sonne (im Sommer) abhält.

Die mittlere tägliche Lufttemperatur kann auch durch das arithmetische Mittel weniger an [illegible] Stunden angestellten Beobachtungen nahe richtig erhalten werden. So eignen sich für diesen [illegible] die Beobachtungen um 6 Uhr morgens, 2 Uhr nachmittags und 10 Uhr abends oder [illegible] Uhr morgens, 2 Uhr nachmitt[illegible] ends, weniger gut die Beobachtungen um [illegible] as Mittel aus nur zwei Beobachtungen

giebt einen angenähert richtigen Wert, wenn man dazu die Beobachtungen in den gleichnamigen Stunden um 8 oder 9 oder 10 Uhr morgens und abends nimmt; desgleichen weicht auch das Mittel aus der höchsten und niedrigsten Temperatur im allgemeinen nur um Bruchteile eines Grades von dem wahren Mittel ab; unter den einmaligen Beobachtungen kommt die um 8 Uhr abends dem Tagesmittel gewöhnlich ziemlich nahe.

Zur Beobachtung des täglichen Maximums und Minimums der Temperatur dient der Thermometrograph. Dieser besteht (nach der einfachsten Einrichtung) aus zwei wagerecht liegenden Thermometern, einem Quecksilber- und einem Weingeistthermometer (Fig. 345). In dem ersteren befindet sich vor dem Quecksilber in der Röhre ein kleines Stiftchen von Eisen, welches bei der Ausdehnung des Quecksilbers in der Röhre vorangeschoben wird, aber bei der Zusammenziehung desselben sich nicht wieder rückwärts bewegt und so den höchsten Stand angiebt, welchen das Quecksilber in der Röhre überhaupt erreicht hat. Um das Minimum der Temperatur anzuzeigen, befindet sich in der Röhre des Weingeistthermometers ein kleines Stäbchen von Glas, welches an beiden Enden etwas dicker als in der Mitte ist. Wenn der Weingeist in der Röhre sich zusammenzieht, so folgt das Glasstäbchen vermöge der Adhäsion zwischen Weingeist und Glas demselben; bei der Ausdehnung des Weingeistes aber fließt derselbe neben dem Glasstäbchen vorbei, ohne dasselbe mitzunehmen, welches daher die niedrigste Temperatur anzeigt, die innerhalb eines gewissen Zeitraumes stattgefunden hat.

(Fig. 345.)



§. 257 (256). Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe. Unter gleichen Breitengraden und übrigens gleichen Umständen ist die Temperatur eines Ortes um so niedriger, je höher derselbe über dem Meeresspiegel liegt. Diese Erscheinung erklärt sich einerseits daraus, daß die von der Sonne ausgesandten Wärmestrahlen stärker in den dichteren als in den dünneren Schichten der Atmosphäre absorbiert werden; andererseits, was die Hauptsache ist, daraus, daß die durch die Sonnenstrahlen der festen oder flüssigen Erdoberfläche zugeführte und von dieser aufgenommene Wärme den der Erdoberfläche unmittelbar benachbarten unteren Luftschichten durch Leitung wie durch Strahlung mitgeteilt wird; endlich drittens daraus, daß die an der Erdoberfläche erwärmten Luftteilchen bei ihrem Aufsteigen in die höheren Schichten der Atmosphäre sich ausdehnen und durch diese Ausdehnung die vorher gewonnene Temperaturerhöhung wieder einbüßen.

In Gebirgsgegenden sinkt die Lufttemperatur ziemlich gleichmäßig im Mittel bei einem Steigen von 100 m um 0,6°; im Winter um 0,5°; im Sommer um 0,7°.

Kennt man die Höhe eines Ortes über dem Meeresspiegel und das Gesetz, nach welchem die Temperatur mit der Höhe abnimmt, so läßt sich aus der beobachteten mittleren Temperatur des Orts auch diejenige herleiten, welche demselben bei gleicher Höhe mit dem Meeresspiegel zukommen würde. (In den dem folgenden §. beigefügten Isothermenkarten sind die Temperaturen höher gelegener Gegenden auf den Meeresspiegel reduziert.)

In der freien Luft nimmt die Temperatur, wie Luftschiffahrten ergeben haben, anfangs, bei geringerer Erhebung über dem Erdboden, sehr rasch, später in größeren Höhen langsamer, in sehr großen Höhen fast gleichmäßig ab, nach Glaisher 1° in der Nähe des Erdbodens schon auf 100 m, dagegen in 6000 und mehr Meter Höhe erst auf 540 m.

Wiewohl die mittlere Lufttemperatur im allgemeinen mit der Höhe abnimmt, so werden doch Abweichungen hiervon im einzelnen durch das größere specifische Gewicht der kälteren Luft herbei-

geführt. Bei anhaltend klarem und ruhigem Frostwetter erreicht nicht selten die Kälte auf den Gipfeln der Berge keinen so hohen Grad als in den benachbarten Thälern oder Ebenen, indem durch die erhebliche Ausstrahlung des Bodens in den langen Winternächten die unteren Luftschichten sich so bedeutend abkühlen, daß nach oben hin eine Zunahme der Temperatur stattfindet.

§. 258 (257). **Isothermen.** Im allgemeinen ist zwar die mittlere Lufttemperatur in der Nähe des Äquators am größten und nimmt mit der Entfernung von demselben und der Annäherung an die Pole ab. Vergleicht man jedoch z. B. in Europa Orte, welche die nämliche geographische Breite und ungefähr gleiche Höhe über der Meeresfläche haben, miteinander, so haben gewöhnlich die mehr westlich gelegenen eine höhere mittlere Temperatur als die östlicher gelegenen. Noch größere Differenzen ergeben sich, wenn man Orte im westlichen Europa mit Orten von gleicher geographischer Breite und ungefähr gleicher Höhe über dem Meeresspiegel in Asien oder im östlichen Nordamerika vergleicht. Europa verdankt diese größere Wärme teils dem Einflusse des Golfstromes, welcher den Küsten Europas das wärmere Wasser des mexikanischen Meerbusens zuführt, teils dem Vorwalten der westlichen Winde, welche die durch den Golfstrom erwärmte Luft besonders über die westlichen Länder Europas verbreiten. (S. auch oben §. 235.)

Sehr übersichtlich werden die für verschiedene Gegenden der Erde obwaltenden Temperaturverhältnisse in der Art dargestellt, daß man auf Landkarten zusammenhängende Linien durch diejenigen Orte zieht, für welche die mittlere Jahrestemperatur (nach Reduktion auf den Meeresspiegel, s. d. vorhergehenden §.) eine gleiche Größe hat. Man nennt diese Linien *Isothermen*.*)

Von den 3 Kärtchen, Fig. 346—348, stellt die erste den ungefähren Lauf der Jahresisothermen, die zweite den Lauf der Isothermen des Januar als des kältesten und die dritte den Lauf der Isothermen des Juli als des heißesten Monats dar. Die Jahresisothermen (Fig. 346) und noch mehr die Isothermen des Januar (Fig. 347) steigen im allgemeinen in der Richtung von Osten nach Westen an, während sich die Isothermen des Juli (Fig. 348) in der Richtung von Westen nach Osten erheben. Die schroffsten Ausbuchtungen zeigen nach dem Eintritt in den atlantischen Ozean die Isothermen des Januar (Fig. 347), indem auch in dem kältesten Monate ein eisfreies Meer infolge des Einflusses des Golfstromes die westlichen Küsten Europas bis zum höchsten Norden hinauf umspült.

Die drei Kärtchen geben ein anschauliches Bild der klimatischen Verhältnisse der Länder, welche sie umfassen. So hat z. B. nach Ausweis derselben das nördliche Irland gleiche Jahrestemperatur mit dem mittleren Deutschland (Fig. 346) und ebenso milde Winter wie Konstantinopel (Fig. 347), während die Sommerwärme die von Finnland (Fig. 348) nicht übersteigt; infolge dieser Verhältnisse grünt in Irland die Myrte im Winter im Freien ebenso freudig wie an den Ufern des Bosporus, während die Sommerwärme nicht ausreicht, die Trauben und Walnüsse zur Reife zu bringen. — Im mittlern Sibirien, wo der Erdboden infolge der ungeheuren Winterkälte bis zu 100 und mehr Meter Tiefe beständig gefroren bleibt und nur während des kurzen Sommers, dessen Wärme der von England gleichkommt (Fig. 348), etwa ein Meter tief auftaut, wird noch Sommerroggen und Weizen gezogen, was auf Island, dessen Winterkälte die von Deutschland nicht übertrifft (Fig. 347), wegen der

*) Linien gleicher Sommerwärme we[illegible]eren und Linien gleicher Winterkälte *Isochimenen* genannt.

(Fig. 346.)



(Fig. 347.)



(Fig. 348.)



mangelnden Sommerwärme (Fig. 348) nicht mehr möglich ist. — Zu Astrachan an der Mündung der Wolga in das kaspische Meer werden bei gleicher Sommerwärme mit Italien (Fig. 348) die herrlichsten Trauben gezogen, wiewohl im Winter das Thermometer ebenso tief herabgeht wie in Lappland und Finnland (Fig. 347) u. dgl. m.

Die mittlere Lufttemperatur in den Tropen übersteigt 25°, in einzelnen besonders warmen Gebieten, z. B. im Innern der Sahara, sogar 30°. Die höchste Temperatur, bis zu welcher man das Thermometer in der heißen Zone in der Entfernung von einigen Fußen über dem Boden im Schatten hat steigen sehen, beträgt über 50°. — In den kältesten Gegenden der Erde, welche man als Kältepole bezeichnet, sinkt die mittlere Temperatur unter —40°. Nach unseren bisherigen Erfahrungen sind auf der nördlichen Halbkugel deren zwei vorhanden, der eine im nordöstlichen Sibirien, der andere (etwas wärmere) auf den Inseln im Norden von Nordamerika. Die niedrigste auf der Erde überhaupt beobachtete Lufttemperatur, welche im Januar 1885 in Werjochansk in Sibirien gemessen worden ist, beträgt —68°. Als höchste Temperatur wurde an diesem Orte +30° beobachtet, sodaß also daselbst die jährliche Schwankung der Temperatur beinahe 100° beträgt. — In Deutschland kann man als die äußersten Grenzen der Lufttemperatur +38° und —32° annehmen.

Isothermenkarten sind zuerst durch Alex. v. Humboldt (1817) angefertigt worden.

§. 259 (258). Temperatur des Bodens, der Quellen und des Meeres. An den Veränderungen der Lufttemperatur nimmt auch die Oberfläche der Erde mehr oder weniger teil. Die Größe dieser Schwankungen nimmt jedoch mit der Tiefe rasch ab und in einer gewissen Tiefe, welche aber für verschiedene Bodenarten verschieden ist, hören dieselben ganz auf wahrnehmbar zu sein. In einer Tiefe von etwa $1/2$—1 m werden die täglichen, in einer Tiefe von 20—25 m auch die jährlichen Schwankungen der Temperatur des Bodens in unseren Breiten unmerklich. In der heißen Zone geschieht auch das letztere schon in der Tiefe von wenigen Metern.

Dringt man bis zu größeren Tiefen in die Erdrinde, so nimmt überall auf der Erde, in der heißen wie in der gemäßigten oder kalten Zone, die Wärme mit der Tiefe zu. Auf je 30 m Tiefe kann man ungefähr eine Zunahme der Temperatur von 1° rechnen. Dieses Resultat ist durch Beobachtungen der Temperatur des Gesteins in Bergwerksschachten und der Temperatur des Wassers in Bohrlöchern erhalten worden. Findet auch für größere Tiefen die Zunahme der Temperatur nach demselben Verhältnisse statt, so muß in 3000 m die Temperatur der des siedenden Wassers gleich sein; in der Tiefe von etwa 5 Meilen müßte auch der Granit sich in geschmolzenem Zustande befinden. Daß wirklich die äußere feste Erdrinde eine geschmolzene Masse umhüllt, dafür sprechen besonders die vulkanischen Erscheinungen, die aus den Spalten der Erdkruste sich ergießenden feurig fließenden Laven.

Reichlich fließende Quellen zeigen fast durch das ganze Jahr eine ziemlich gleiche Temperatur. Die größte Wärme derselben fällt gewöhnlich in den September, die geringste in den März. Bei den meisten Quellen der gemäßigten Zone übertrifft ihre Temperatur infolge der mit der Tiefe zunehmenden Erdwärme etwas die mittlere Lufttemperatur; in höheren Breiten steigt dieser Unterschied selbst bis auf mehrere Grade; über die heiße Zone fehlen noch hinreichende Beobachtungen. — Einige Quellen zeigen eine Temperatur, welche um vieles höher ist, als die mittlere Lufttemperatur, was zu dem Schlusse führt, daß dieselben größeren Tiefen entspringen. Aus dem Unterschiede zwisch[illegible]atur einer Quelle und der mittleren

Lufttemperatur läßt sich zufolge des oben Gesagten annähernd die Tiefe ihres Ursprungs berechnen.

Die Temperatur des Meeres ist, wie wir im vorhergehenden schon bei mehreren Gelegenheiten bemerkt haben, weit geringeren Schwankungen unterworfen als die Lufttemperatur. In unseren nördlichen Breiten ist das Meer im August und September am wärmsten, im Februar und März am kältesten. In niederen Breiten ist die mittlere Temperatur des Meeres an der Oberfläche von der mittleren Lufttemperatur nur wenig verschieden; in höheren Breiten jedoch übertrifft sie dieselbe bedeutend. Mit der Tiefe nimmt die Temperatur des Meerwassers ab. Selbst unter dem Äquator hat man aus sehr großen Tiefen Meerwasser geschöpft, dessen Temperatur einen Grad unter dem Eispunkte lag, was seine Erklärung in den mannigfachen im Meere stattfindenden Strömungen und in dem größeren specifischen Gewichte des kälteren Wassers findet.

In dem Bohrloche zu Sperenberg bei Berlin, einem der tiefsten auf der Erde, ist in der Tiefe von 1334 m eine Temperatur von 51° beobachtet worden. Im Mittel aus mehreren Beobachtungen hat sich eine Zunahme von 1° auf je 28 m ergeben. — In einem Bohrloche zu Schladebach bei Halle, dem tiefsten Bohrloche der Welt, hat man in einer Tiefe von 1716 m die Temperatur von 56,6° beobachtet.

Am Boden tieferer Landseen ist die Temperatur des Wassers gewöhnlich 4°, also diejenige, bei welcher das Wasser seine größte Dichtigkeit erreicht.

Daß auch in den kältesten Gegenden der Erde, wie z. B. im nördlichen Sibirien, wo selbst in der Mitte des Sommers der Boden nur an der Oberfläche auftaut, die Temperatur mit der Tiefe zunimmt, dafür liefern den Beweis teils direkte Beobachtungen in Bergwerksschachten, teils die aus dem gefrorenen Boden hervorbrechenden Quellen.

Anhang.

Mathematische Geographie.

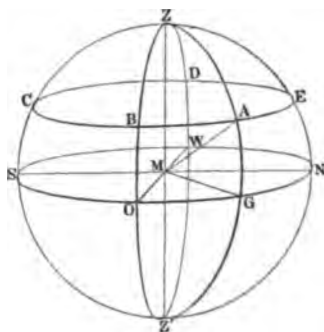
Die mathematische Geographie betrachtet die Erde als Weltkörper. Sie hat insbesondere zu ihrem Gegenstande die Gestalt, die Größe und die Bewegungen der Erde, sowie deren Beziehungen zu anderen Weltkörpern.

A. Der Fixsternhimmel und die Erde.

§. 260. **Horizont und Himmelskugel.** Bei freier Aussicht erscheint uns die Oberfläche der Erde als eine wagerechte und kreisförmig begrenzte Ebene, über welcher sich das Himmelsgewölbe in Gestalt einer großen Halbkugel ausbreitet. Unser Standpunkt bildet den Mittelpunkt der Halbkugel; die Linie aber, in welcher die durch unseren Standpunkt gehende wagerechte Ebene das Himmelsgewölbe trifft, ist der die Halbkugel begrenzende Hauptkreis. Derselbe wird Gesichtskreis oder Horizont (*ὁρίζειν*, begrenzen) genannt.

Die Erscheinung des Auf- und Unterganges der Gestirne führt zu der Vorstellung einer vollständigen Himmelskugel, von welcher uns immer nur die zur Zeit der Beobachtung gerade über dem Horizont gelegene Hälfte sichtbar ist. Das im Standpunkte des Beobachters auf der Ebene des Horizonts errichtete Lot heißt Scheitellinie oder Vertikale. Dieselbe trifft die Himmelskugel in dem senkrecht über und, nach abwärts verlängert, in dem senkrecht unter dem Beobachter gelegenen Punkte. Der erstere wird der Scheitelpunkt oder das Zenith, der letztere der Fußpunkt oder das Nadir genannt. Jede durch die Scheitellinie gelegte Ebene schneidet die Himmelskugel in einem Hauptkreise, Scheitel- oder Vertikalkreis.

(Fig. 349.)



Es sei M (Fig. 349) der Standpunkt des Beobachters, OSWN der Horizont, Z das Zenith, Z' das Nadir. Denken wir uns nun durch einen beliebigen Punkt des Himmels, z. B. A, den zugehörigen Scheitelkreis ZAZ' gelegt, so giebt der Bogen AG dieses Kreises den Abstand des Punktes A vom Horizont an. Dieser in Grader [illegible] t AG oder der ihm gleiche

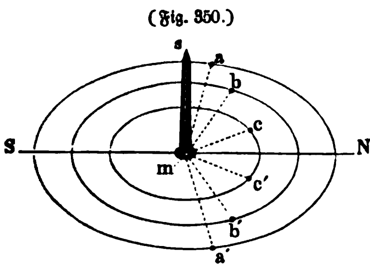
Winkel AMG, welchen die von M aus nach A gerichtete Sehlinie mit dem Horizont bildet, wird die **Höhe** des Punktes A genannt. Alle Punkte auf einem zum Horizont parallelen Kreise, wie A, B, C, D, E, haben die nämliche Höhe.

Wir unterscheiden ferner die Himmelsgegenden **Osten** (**Morgen**), **Süden** (**Mittag**), **Westen** (**Abend**), **Norden** (**Mitternacht**). Dieselben werden näher bestimmt durch den täglichen Lauf der Sonne (überhaupt der Gestirne). Tag für Tag geht die Sonne morgens in östlicher Himmelsgegend auf, erreicht mittags im Süden ihren höchsten Stand und sinkt abends am westlichen Himmel wieder unter den Horizont. Dabei steigt die Sonne zwar im Sommer höher empor als im Winter; doch erreicht sie ihren höchsten Stand stets in dem nämlichen Scheitelkreise. Derselbe heißt **Mittagskreis** oder **Meridian**. Von den beiden Punkten, in denen der Meridian den Horizont schneidet, wird derjenige, über welchem sich die Sonne bei ihrem höchsten Stande befindet, der **Südpunkt**, der andere der **Nordpunkt** genannt. Stellt ZSZ'N (Fig. 349) den Meridian dar und bewegt sich die Sonne mittags durch den Bogen ZS, so ist S der Südpunkt, N der Nordpunkt. Die durch M gehende Verbindungslinie SN des Süd- und Nordpunktes, d. h. die Linie, in welcher die Ebene des Meridians die Ebene des Horizonts durchschneidet, heißt **Mittagslinie**. Denken wir uns ferner senkrecht zum Meridian einen Scheitelkreis ZOZ'W gelegt, so schneidet dieser den Horizont in zwei Punkten O und W, welche beide um 90° vom Süd- und Nordpunkte abstehen. O wird der **Ostpunkt**, W der **Westpunkt** genannt.

Da die Sonne im Meridian ihren höchsten Stand erreicht, so wird die Richtung der Mittagslinie durch den kürzesten Schatten eines senkrecht aufgestellten Stabes angegeben. Die Lage dieses Schattens vermag man jedoch unmittelbar nicht deutlich zu erkennen, weil sich um Mittag die Höhe der Sonne und infolgedessen auch die Länge des Schattens nur sehr langsam ändert.

Eine schärfere Bestimmungsweise der Mittagslinie gründet sich darauf, daß die Sonne am Vor- und Nachmittage bei gleichem Abstande vom Meridian die nämliche Höhe hat, daß also die Schatten eines senkrechten Stabes, wenn sie am Vor- und Nachmittage gleiche Winkel mit der Mittagslinie bilden, gleich lang sind. Man beschreibt auf einer wagerechten Platte (Fig. 350) mehrere konzentrische Kreise und stellt dann einen Stift so auf, daß seine Spitze s senkrecht über dem gemeinschaftlichen Mittelpunkte m liegt. Dann bezeichnet man bei Sonnenschein auf einem der Kreise, etwa dem äußeren, die Punkte a und a', in welchen der Kreis am Vor- und Nachmittage von der Spitze des Schattens getroffen wird. Die Halbierungslinie SN des Winkels ama' ist die Mittagslinie. Behufs größerer Genauigkeit wird man auch für die übrigen Kreise die Punkte b und b', c und c' u. s. w. aufsuchen, in denen die Schattenspitze die Kreise schneidet. Fallen dann die Halbierungslinien der Winkel ama', bmb', cmc' u. s. w. nicht genau zusammen, so nimmt man deren mittlere Richtung als die der Mittagslinie. — Die hier beschriebene Vorrichtung (**Gnomon**) wurde allgemein im Altertum zur Bestimmung der Mittagslinie benutzt. Sie kann auch noch zur Ermittlung der Sonnenhöhe dienen. Ist z. B. mc der Schatten des Stabes ms, so mißt der Winkel scm die Sonnenhöhe, es ist aber tg (scm) = ms : mc.

(Fig. 350.)

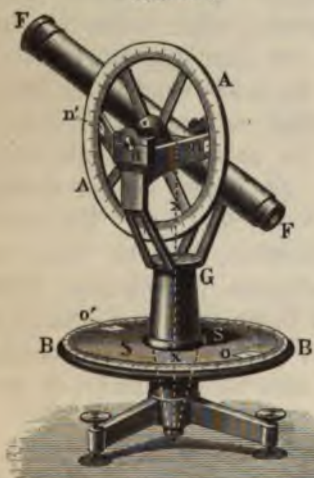


Durch die Höhe AG (Fig. 349) eines Punktes A wird die Lage desselben auf seinem Scheitelkreise ZAZ' angegeben. Um seine Lage am Himmel vollständig festzustellen, ist noch die

Scheitelkreises zu bestimmen. Zu dem Zwecke mißt man den Winkel, welchen der Scheitelkreis von A mit dem Meridian ZNZ' bildet. Dieser Winkel GMN oder der ihm gleiche Bogen NG des Horizonts heißt das Azimut des Punktes A. Es wird vom Nordpunkte (oder Südpunkte) aus in der Richtung von Osten (durch Süden) nach Westen gezählt. So hat z. B. der Ostpunkt O ein Azimut von 90° u. s. w.

Zur genauen Abmessung von Höhe und Azimut dient der Theodolit, welchen Fig. 351 nach seinen Hauptteilen darstellt. Derselbe besteht aus einem Fernrohr FF, welches sich um eine wagerechte Achse a und um eine durch die Linie xx angedeutete senkrechte Achse drehen läßt; ferner aus zwei mit einer Gradteilung versehenen Kreisen, einem senkrechten AA und einem wagerechten BB. Der erstere sitzt fest auf der Achse a; er nimmt daher an jeder Drehung des Fernrohrs um diese Achse teil und gestattet so die Größe dieser Drehung mit Hülfe der an besonderen Armen des Gestelles angebrachten Nonien n und n' abzulesen. Andererseits ist der wagerechte Kreisring BB in fester Verbindung mit dem Fußgestell, während die von ihm umschlossene Scheibe SS' festsitzt an dem Gestell G, welches das Fernrohr trägt und um die senkrechte Achse xx drehbar ist. Eine Drehung um diese Achse kann so an der Gradteilung des feststehenden Ringes BB vermittelst der auf SS' bei o und o' angebrachten Nonien abgemessen werden.

(Fig. 351.)



Um das Fernrohr auf einen Punkt scharf einstellen zu können, ist im Innern eine besondere Vorrichtung, das Fadenkreuz, angebracht. Dasselbe besteht aus zwei sehr feinen Fäden, welche senkrecht zur optischen Achse, der eine in wagerechter, der andere in senkrechter Lage, ausgespannt sind. Der Schnittpunkt dieser Fäden liegt in der optischen Achse an der Stelle, an welcher das Bild eines fernen in der Richtung der Achse befindlichen Punktes entsteht. Das Fernrohr ist daher genau auf einen Punkt eingestellt, wenn letzterer gerade im Durchschnitte der Fäden erscheint.

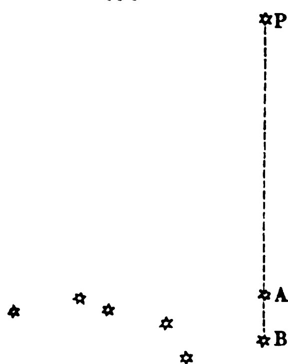
Mit Hülfe des Theodolits kann man die Mittagslinie genauer und zwar ebenfalls durch Beobachtung korrespondierender Sonnenhöhen, d. h. gleicher Höhen der Sonne am Vor- und Nachmittage feststellen. Man richtet das Fernrohr vormittags auf einen Punkt der Sonne und beobachtet die Stellung am Horizontalkreise, dann dreht man das Fernrohr, ohne seine Neigung gegen den Horizont zu ändern, durch den Meridian hindurch und beobachtet am Nachmittage die Stellung, bei welcher wieder der nämliche Punkt der Sonne durch die Mitte des Fadenkreuzes hindurch geht. Giebt man dem Fernrohr nun die Lage, in welcher es den Winkel zwischen der ersten und zweiten Stellung halbiert, so fällt die optische Achse in den Meridian; sie zeigt die Richtung der Mittagslinie an, falls man das Fernrohr wagerecht stellt. — Korrespondierende Sonnenhöhen liefern übrigens wegen des Fortschreitens der Sonne unter den Sternen (s. §. 271) kein ganz genaues Ergebnis. Am besten eignen sich korrespondierende Höhen eines Fixsternes.

Da uns die Gestirne infolge der athmosphär. Strahlenbrechung (§. 198) etwas höher erscheinen als sie wirklich sind, so bedarf die unmittelbare Abmessung der Höhe eines Sternes noch eine dementsprechende Berichtigung.

§. 261. Einteilung der Sterne. Die meisten Sterne erscheinen immer wieder in der nämlichen gegenseitigen Stellung; sie heißen Fixsterne im Gegensatze zu einigen wenigen Sternen, welche unter den Fixsternen fortschreiten, den Wandelsternen oder Planeten (πλανᾶσθαι, umherschweifen). Während die Fixsterne funkeln, *glänzen* die Planeten in ruhigem Lichte. Nach ihrer Lichtstärke unterscheidet man

Sterne 1., 2. Größe u. s. w. Benachbarte Fixsterne hat man ferner in Gruppen, Sternbilder, zusammengefaßt. Das bekannteste unter den Sternbildern ist der große Wagen oder Bär (Fig. 352). Derselbe besteht aus 7 hellen Sternen, von denen 4 die Räder, 3 die (gebrochene) Deichsel bilden. Verbindet man die Hinterräder A und B durch eine Gerade und verlängert diese über das rechte Hinterrad hinaus um etwas mehr als ihre 5fache Länge, so trifft man auf einen hellen Stern P, den Polarstern.

(Fig. 352.)

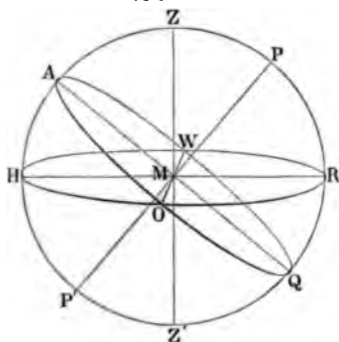


Andere Sternbilder sind mit Hülfe einer Sternkarte aufzusuchen. Siehe des Verfassers Math. Geogr., 3. Aufl. 1889.

Mit bloßem Auge vermag man noch Sterne 6. Größe eben wahrzunehmen.

§. 262. **Tägliche Drehung des Himmels.** Alle Gestirne beschreiben Tag für Tag, indem sie am östlichen Himmel emporsteigen, am westlichen wieder niedersinken, parallele kreisförmige Bahnen; nur der Polarstern scheint seine Lage beizubehalten. Es dreht sich die Himmelskugel täglich in der Richtung von Osten nach Westen*) um eine durch den Standpunkt des Beobachters gehende Gerade, welche in der Ebene des Meridians gelegen und bei uns gegen den Horizont nach Norden geneigt ist. Diese Linie, die Weltachse, trifft die Himmelskugel in zwei Punkten, den Weltpolen, von denen der über unserem Horizont gelegene Nordpol, der unter dem Horizont gelegene Südpol genannt wird. In unmittelbarer Nähe des Nordpoles befindet sich der Polarstern.**) Unter den sämtlichen Parallelkreisen, deren Ebenen zur Weltachse senkrecht stehen, schneidet der, dessen Ebene durch den Standpunkt des Beobachters hindurch geht, die Himmelskugel in einem Hauptkreise, welcher überall von den Polen gleichen Abstand hat und daher Himmelsäquator genannt wird; er teilt die Himmelskugel in eine nördliche und eine südliche Hälfte.

(Fig. 353.)



Es sei in Fig. 353 HWRO der Horizont des Ortes M, ZHZ'R der Meridian, PP' die Weltachse. Dann ist Bg. PR oder Wkl. PMR die Höhe des Poles P über dem Horizont oder kurz die Polhöhe. Es sei ferner AQ der Äquator. Die Ebene desselben schneidet die Horizontebene HR, da beide auf der Meridianebene senkrecht stehen, in einer Linie OW, welche ebenfalls senkrecht zur Meridianebene, also auch senkrecht zur Mittagslinie HR gelegen ist. Es sind demnach die Punkte O und W, in denen der Äquator den Horizont schneidet, der Ostpunkt (O) und der Westpunkt (W).

*) Unter einer Drehung von Osten nach Westen ist stets eine Drehung von Osten durch Süden nach Westen verstanden, also entsprechend der Bewegung eines Uhrzeigers.

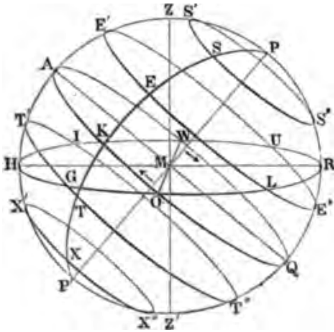
**) Für jeden Ort ist die Höhe des Poles über dem Horizont gleich der geogr. Breite, also für das mittlere Deutschland etwa 50° (s. §. 267).

Der Bogen AH des Meridians zwischen Äquator und Horizont oder der ihm gleiche Winkel AMH heißt die Äquatorhöhe. Da Bg. HZR = 180° und Bg. AZP = 90° ist, so ist auch PR + AH = 90°, d. h.

Polhöhe und Äquatorhöhe ergänzen sich zu 90°.

Denken wir uns ferner durch einen Stern S (Fig. 354) und die Pole P, P′ einen Kreis gelegt. Ist dann der Abstand des Sternes vom nördlichen Pole P, also PS, kleiner als die Polhöhe PR, so fällt der von dem Stern beschriebene Kreis SS′S″ ganz über den Horizont. Dergleichen Sterne, welche für uns stets über dem Horizot bleiben, werden nördliche Circumpolarsterne genannt. Südliche Circumpolarsterne aber heißen Sterne, deren Abstand vom südlichen Pole P′ kleiner als die Polhöhe (P′H = PR) ist, und die daher beständig unter dem Horizonte bleiben. Bei allen anderen Sternen, deren Polabstand größer ist als die Polhöhe, z. B. bei E und T, liegen die Bahnen EE′E″ und TT′T″ zum Teil über, zum Teil unter dem Horizont. Man unterscheidet hiernach bei denselben Tag- und Nachtbogen. Für E ist z. B. Bg. LE′U der Tag- und Bg. UE″L der Nachtbogen. Der Abstand des Punktes, in welchem ein Stern auf- oder untergeht, vom Ost- oder Westpunkte wird Morgen- oder Abendweite des Sternes genannt. Dieselbe kann eine nördliche (z. B. LO, UW) oder eine südliche (z. GO, IW) sein. Für jeden Fixstern ist die Morgenweite gleich der Abendweite; es ist z. B. LO = UW.

(Fig. 354.)



Innerhalb eines Tages gehen alle Sterne 2mal durch den Meridian und erreichen in demselben ihren höchsten und ihren niedrigsten Stand. Man nennt den Eintritt eines Sternes in den Meridian seine Kulmination und unterscheidet die obere und untere Kulmination. Bei Circumpolarsternen, z. B. S, fällt sowohl die obere Kulmination S′ als auch die untere S″ über den Horizont. Bei anderen Sternen, z. B. E oder T, liegt die obere Kulmination E′ oder T′ über, die untere E″ oder T″ unter dem Horizont. Sämtliche Sternbahnen werden durch den Meridian halbiert. Ein gleiches gilt betreffs der Tag- und Nachtbogen, es ist z. B. LE′ = E′U; UE″ = E″L.

Nach dem Obigen wird der Meridian eines Ortes, desgleichen seine Polhöhe annähernd durch den Polarstern angegeben. — Zur genauen Ermittelung der Polhöhe mißt man für einen Circumpolarstern bei seiner oberen Kulmination S′ (Fig 354) und bei seiner unteren S″ die Höhe S′R und S″R. Dann ist, da S′P = S″P ist, die Polhöhe PR = ½(S′R + S″R), d. h. gleich der halben Summe der Kulminationshöhen. (Siehe ferner auch §. 268.)

Hat man ein Fernrohr auf einen Stern eingestellt, so verschwindet derselbe infolge seiner täglichen Bewegung sehr bald wieder aus dem Gesichtsfelde. Um der Bewegung des Sternes bequem folgen zu können, hat man die Drehungsachse des Fernrohrs der Weltachse parallel zu stellen. (Siehe des Verfassers Math. Geogr. 3. Aufl. 1889.)

§. 263. **Sterntag und Sonnentag.** Die Zeit von der oberen Kulmination eines Fixsternes bis zur nächstfolgenden oberen Kulmination ist für alle Fixsterne *und an jedem Tage* dieselbe. **Überhaupt geschieht die Drehung des Fixsternhimmels**

gleichförmig. Denken wir uns durch einen Stern E (Fig. 354, S. 454) und die Pole P, P' den Kreis PEP' gelegt, welchen man als Stundenkreis des Sternes bezeichnet. Schreitet dann der Stern infolge der Drehung des Himmels etwa bis E' fort, ist also sein Stundenkreis in die Lage PE'P' gekommen, so hat der letztere einen Winkel KMA beschrieben, welcher durch den Bogen KA des Äquators gemessen wird. Der Stundenkreis eines Fixsternes durcheilt nun in gleichen Zeiten stets gleiche Winkel, also der Schnittpunkt K dieses Kreises mit dem Äquator gleiche Bogen.

Die tägliche Drehung des Himmels dient uns als Zeitmaß, nach welchem wir unsere Uhren regulieren. Die Zeit von einer oberen oder unteren Kulmination eines Fixsternes bis zur nächstfolgenden gleichartigen (oberen oder unteren) Kulmination wird ein Sterntag genannt. Dieser Tag wird in 24 Stunden (h), die Stunde in 60 Minuten (m) und die Minute in 60 Sekunden (s) geteilt. Es dreht sich also das Himmelsgewölbe, genauer der Stundenkreis eines Sternes in 24 St. um 360°, also in 1 St. um 15°; die Drehung von 1° geschieht in 4 Min. (Sternzeit).

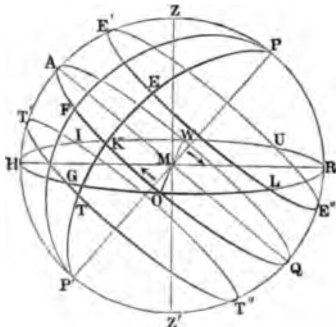
Während die Zeit von einer oberen oder unteren Kulmination bis zur nächstfolgenden oberen oder unteren Kulmination für alle Fixsterne die nämliche ist, ist diese Zeit bei der Sonne um etwa 4 Min. länger (§. 271). Die Zeit zwischen zwei auf einanderfolgenden gleichartigen Kulminationen der Sonne heißt ein wahrer Sonnentag. Die wahren Sonnentage sind ferner zu verschiedenen Zeiten des Jahres nicht genau von der nämlichen Dauer. Man nimmt daher den mittleren Wert sämtlicher wahren Sonnentage eines Jahres als unveränderliche Zeiteinheit und bezeichnet diese als mittleren Sonnentag. Der mittlere Sonnentag wird wie der Sterntag in 24 St., die Stunde in 60 Min., die Minute in 60 Sek. geteilt. Im gewöhnlichen Leben werden alle Zeitangaben nach mittlerer Sonnenzeit gemacht. (Näheres §. 276.)

Der Winkel, welchen der Stundenkreis eines Sternes mit dem Meridian bildet, heißt der Stundenwinkel des Sternes. Derselbe wird durch den zwischen dem Meridian und dem Stundenkreise gelegenen Bogen auf dem Äquator gemessen und von der oberen Kulmination im Sinne der Drehung des Himmels bis 360° gezählt. Da nun in jeder Stunde 15° durch den Meridian gehen, so beträgt der Stundenwinkel eines Sternes 1 St. nach seiner oberen Kulmination 15°, 2. St. nach derselben 30° u. s. w. Allgemein erhält man den Stundenwinkel eines Sternes in Graden, wenn man die seit seiner Kulmination verstrichene Zeit in Stunden mit 15 multipliziert. Ist die letztere z. B. $= 3^h\ 5^m\ 14^s$, so ist der Stundenwinkel des Sternes $= 46^0\ 18'\ 30''$. Umgekehrt bekommt man die Zeit, welche seit der Kulmination des Sternes vergangen ist, in Stunden, wenn man den in Graden ausgedrückten Stundenwinkel durch 15 dividiert. Infolge dieser Beziehung wird der Stundenwinkel häufig, indem man sich den Äquator in 24 gleiche Teile, Stunden, eingeteilt denkt, anstatt in Bogenmaß, in Zeitmaß angegeben.

Stellt man einen Stab in die Richtung der Weltachse PP' (Fig. 354, S. 454) und bringt senkrecht dazu, also parallel der Äquatorebene AQ eine Platte an, so wird der Schatten des Stabes auf der Platte beim Durchgange der Sonne durch den Meridian auf die Schnittlinie MQ der Platte mit der Meridianebene fallen, für jede Stunde früher oder später aber um je 15° westwärts oder ostwärts. Zeichnet man nun diese Linien auf die Platte, indem man, von der Schnittlinie mit dem Meridian ausgehend, Winkel von 15° anträgt, so erhält man eine einfache Sonnenuhr. Gewöhnlich wird die Platte, das Zifferblatt, nicht parallel dem Äquator, sondern in senkrechter oder wagerechter Lage aufgestellt. Die Richtung der Schattenlinien findet man dann durch Zeichnung oder Rechnung, indem man die in der Äquatorebene entstehenden Schattenlinien auf die senkrechte oder wagerechte Ebene projiziert.

§. 264. Rektascension und Deklination. Um die Lage eines Sternes E (Fig. 355) an der sich drehenden Himmelskugel festzustellen, denkt man sich durch den Stern seinen Stundenkreis PEP′ gelegt und bestimmt zunächst den Winkel, welchen dieser Kreis mit einem am Himmel festliegenden Stundenkreise bildet. Als solcher dient derjenige, dessen einer Schnittpunkt mit dem Äquator der Frühlingsnachtgleichenpunkt oder kurz Frühlingspunkt genannt wird; es ist dies der Punkt des Äquators, in welchen alljährlich bei Beginn des Frühlings die Sonne tritt, infolgedessen dann Tag und Nacht gleich sind (s. auch §. 271). Von dem ersten Stundenkreise aus werden nun alle anderen in der Richtung von Westen nach Osten bis 360° weiter gezählt. Ist etwa F der Frühlingspunkt, so wird der Stundenkreis PEP′ eines Sternes E durch den Winkel festgelegt, welchen jener mit dem Stundenkreise PEP′ bildet. Dieser Winkel oder der ihm gleiche Bogen KF des Äquators heißt Rektascension oder gerade Aufsteigung.

(Fig. 355.)



Auf dem Stundenkreise giebt man nun noch den Abstand EK des Sternes vom Äquator an. Dieser Bogen wird Deklination oder Abweichung genannt. Je nachdem ein Stern (E oder T) nördlich oder südlich vom Äquator gelegen ist, unterscheidet man nördliche Deklination (EK) oder südliche (TK). Durch Rektascension und Deklination ist die Lage eines Sternes an der Himmelskugel vollkommen bestimmt. — Da die Deklination auf den Stundenkreisen gemessen wird, so bezeichnet man die letzteren auch als Deklinationskreise.

Sterne mit gleicher Rektascension, also auf dem nämlichen Deklinationskreise, z. B. E und T, treten zu gleicher Zeit in den Meridian. Sterne mit gleicher Deklination, also auf dem nämlichen Parallelkreise, z. B. E, E′ und E″, verweilen gleich lange über dem Horizonte, kulminieren in gleicher Höhe und gehen an den nämlichen Stellen auf und unter. Sterne, welche im Äquator stehen, gehen im Ostpunkte auf, im Westpunkte unter und verweilen ebenso lange über als unter dem Horizont. Bei einem Sterne (E) mit nördlicher Deklination übertrifft der Tagbogen (LE′U) den Nachtbogen (UE″L), seine Kulminationshöhe HE′ die Äquatorhöhe (AH) um die Größe der nördlichen Deklination des Sternes (AE′), und der Ort des Aufganges (L) und ebenso der Ort des Unterganges (U) fällt nördlich von dem Ost- und Westpunkte und zwar dies alles um so mehr, je größer die nördliche Deklination des Sternes ist. Bei einem Sterne (T), welcher südlich vom Äquator steht, ist der Tagbogen (GT′I) kleiner als der Nachtbogen (IT″G), die Kulminationshöhe (HT′) kleiner als die Äquatorhöhe (AH) um die Größe der südlichen Deklination des Sternes (AT′), und der Ort des Aufgangs (G) und der Ort des Untergangs (I) liegen südlich von dem Ost- und Westpunkte und ebenfalls um so mehr, je größer die südliche Deklination des Sternes ist.

Die Deklination eines S… Beobachtung seiner Kulminationshöhe bestimmen.
… der Unterschied zwischen der Kulminations-

höhe E'H der Äquatorhöhe AH gleich der Deklination E'A. (Für T mit südlicher Deklination ist T'A = AH — T'H.) Die Äquatorhöhe ergiebt sich aber aus der Polhöhe, da beide sich (nach §. 262) zu 90° ergänzen.

Da die Rektascension eines Sternes E durch den Bogen KF auf dem Äquator gemessen wird, so drückt man dieselbe gewöhnlich ganz ebenso wie den Stundenwinkel (§. 263) nicht in Bogen-, sondern in Zeitmaß aus, indem man sich den Äquator in 24 Stunden geteilt denkt. Tritt ein Stern E bei seiner oberen Kulmination E' in den Meridian, so befindet sich der Frühlingspunkt F schon westlich von demselben, und es ist die Rektascension FK in Stunden gleich der Zeit, welche seit der Kulmination des Frühlingspunktes verflossen ist. Hiernach erhält man die Rektascension eines Sternes, indem man den Zeitunterschied zwischen seiner Kulmination und der des Frühlingspunktes ermittelt. (Näheres siehe in des Verfassers Math. Geogr., 3. Aufl. 1889.)

§. 265. Kugelgestalt der Erde. Die Erfahrung lehrt, daß der freie Horizont überall kreisförmig erscheint, und daß sich dieser Gesichtskreis erweitert, wenn wir einen höher gelegenen Standort wählen. Hieraus können wir schließen, daß die Erde überall und nach allen Richtungen hin gleichmäßig gekrümmt sein, also eine kugelförmige Gestalt besitzen wird.

Astronomische Beweise, welche die Kugelgestalt der Erde genauer darthun, siehe §. 267 und 269.

Gründe, welche mehr oder weniger für die Kugelgestalt der Erde sprechen, sind ferner noch:

3) die Erfahrung, daß von Schiffen, welche sich einem Beobachter nähern, zuerst die Spitzen der Masten und bei stärkerer Annäherung auch die weniger hoch gelegenen Teile erblickt werden, während bei sich entfernenden Schiffen die Teile derselben in umgekehrter Reihenfolge verschwinden;

4) die runde Gestalt des Schattens der Erde bei Mondfinsternissen;

5) Reisen um die Erde;

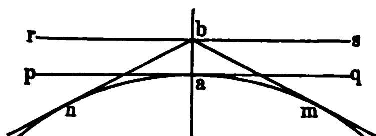
6) die Ähnlichkeit mit den Planeten, deren Kugelgestalt sich unmittelbar aus Beobachtungen im Fernrohr ergiebt (s. §. 292).

Bei der großen Ausdehnung der Erde erscheint uns das kleine Stück der Oberfläche, welches wir von unserem jedesmaligen Standpunkte zu überblicken vermögen, als Teil einer Ebene. Diese Ebene, nach §. 260 die Horizontebene des Beobachters, berührt die Erdkugel im Beobachtungsorte. Sie steht also auf dem zugehörigen Halbmesser der Erdkugel senkrecht; die Scheitellinie geht unterhalb des Horizontes durch den Mittelpunkt der Erde.

Von den verschiedensten Punkten der Erde aus zeigen sich uns die Sternbilder stets in unveränderter Größe und Gestalt. Nun erscheinen uns im allgemeinen mehrere feststehende Gegenstände von verschiedenen Standpunkten aus in anderer gegenseitiger Lage; diese Änderungen fallen aber um so geringer aus, je weiter die Gegenstände von uns entfernt sind. Daraus schließen wir, daß die Entfernung der Fixsterne von der Erde unendlich vielmal größer sein muß als die größte Entfernung auf der Erde. Im Verhältnis zu jenem Abstande haben wir die Erde als ein verschwindend kleines Kügelchen im Weltraume, als einen Punkt anzusehen. Bei Beobachtungen der Fixsterne können wir daher den Mittelpunkt der Erde als unseren Standpunkt, als den Mittelpunkt der Himmelskugel betrachten. Anstelle der Horizontebene, welche die Erdkugel im Standpunkte des Beobachters berührt, tritt eine ihr parallele, welche durch den Mittelpunkt der Erde geht. Die letztere Ebene nennt man den wahren, die erstere den scheinbaren Horizont. Für Beobachtungen der Fixsterne fallen beide zusammen.

Es sei ab (Fig. 356) die Scheitellinie des Beobachtungsortes a, man ein Bogen des Kreises, in welchem eine durch die Scheitellinie gelegte Ebene die Erdoberfläche schneidet. Die in a gezogene Tangente pq giebt dann die Horizontebene des Beobachters an. Für einen senkrecht über a gelegenen Punkt b wird die Horizontebene durch die Gerade rs (|| pq, ⊥ ab) dargestellt. Ziehen wir ferner von b die Tangente bm (oder bn), so bestimmt diese die Gesichtsweite für den Ort b; es liegt m (oder n) auf einem Kreise, welcher den von b aus sichtbaren Teil man der Erdoberfläche begrenzt. (Man denke sich die Figur um ab als Achse gedreht.) Der durch bm angegebene Gesichtskreis hat am Himmel eine etwas tiefere Lage als der Hauptkreis, in welchem die Horizontebene rs die Himmelskugel halbiert. Zur Unterscheidung wird der erstere Kreis der natürliche, der letztere der astronomische Horizont genannt. Der Winkel sbm heißt die Depression des Horizonts (bei den Seeleuten Kimmtiefe). Dieselbe wächst wie die Gesichtsweite mit der Erhebung des Standpunktes. Sie beträgt in der Höhe von 100 m beinahe 20′.

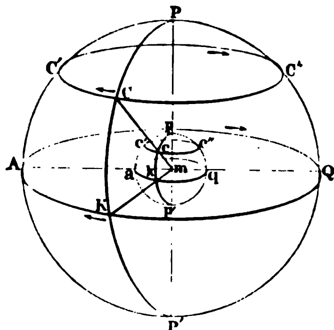
(Fig. 356.)



§. 266. **Geographische Länge und Breite.** Zufolge des vorigen §. geht die Weltachse durch den Mittelpunkt der Erde. Die Punkte, in denen sie die Oberfläche der Erde trifft, werden die Pole der Erde genannt. Den Himmelspolen entsprechend unterscheidet man den Nord- und den Südpol. Das zwischen beiden Polen gelegene Stück der Weltachse heißt Erdachse. Die Ebene des Himmelsäquators schneidet die Oberfläche der Erde in einem Hauptkreise, dem Erdäquator, welcher überall von den Polen der Erde gleich weit absteht.

Es seien in Fig. 357 die Himmels- und Erdkugel mit dem gemeinschaftlichen Mittelpunkte m dargestellt; P und P′ seien die Himmelspole, p und p′ die entsprechenden Erdpole, AQ der Himmels-, aq der Erdäquator. Denken wir uns nun den Punkt C am Himmel mit dem Mittelpunkte m verbunden, so trifft die Verbindungslinie die Oberfläche der Erde in einem Punkte c, für welchen der Punkt C am Himmel das Zenith ist. Beschreibt dann C an der Himmelskugel einen dem Äquator AQ parallelen Kreis CC′C″, so durchläuft auch c auf der Oberfläche der Erde einen Kreis cc′c″, welcher dem Erdäquator aq parallel ist. Derartige Kreise auf der Erde heißen Parallelkreise. Legen wir ferner durch die Pole P und P′ des Himmels einen (halben) Deklinations- oder Stundenkreis PCP′, so schneidet die Ebene dieses Kreises die Erdoberfläche ebenfalls in einem (halben) Hauptkreise pcp′. Solche auf der Erde durch die Pole gehende (halbe) Hauptkreise werden Meridiane genannt.

(Fig. 357.)



Um die Lage eines Ortes auf der Erde angeben zu können, stellt man zunächst die Lage des durch den Ort gehenden Meridians fest. Zu dem Zweck nimmt man einen derselben als Anfangsmeridian, jetzt gewöhnlich den von Greenwich (Sternwarte bei London), und zählt die übrigen nach der Größe des Winkels, welchen sie mit diesem bilden, entweder nach Osten bis 360° oder nach beiden Seiten, östlich *und westlich*, bis 180°. Gilt z. B. der durch c′ gelegte Meridian pc′p′ als Anfangs-

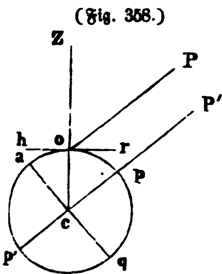
meridian, so ist der durch c gehende Meridian pcp′ durch Wkl. amk bestimmt. Dieser Winkel zwischen Anfangs- und Ortsmeridian oder der ihm gleiche Bogen ak auf dem Äquator wird die **geographische Länge** des Ortes c genannt. Die Lage von c auf seinem Meridian wird nun ferner noch festgestellt durch den Bogen ck des Meridians zwischen c und dem Äquator. Dieser Bogen oder der ihm gleiche Winkel cmk, welchen der nach c gezogene Erdhalbmesser mit der Äquatorebene bildet, heißt die **geographische Breite** des Ortes c. Man unterscheidet **nördliche** und **südliche** geogr. Breite. Durch die geogr. Länge und Breite wird die Lage eines Ortes auf der Erde in ähnlicher Weise angegeben, wie die eines Punktes am Himmel durch Rektascension und Deklination.

Orte auf demselben Meridian haben einerlei Länge, Orte auf dem nämlichen Parallelkreise gleiche Breite.

§. 267. **Lage der Himmelskugel an verschiedenen Orten der Erde.** Wegen der Kugelgestalt der Erde nimmt der Horizont an verschiedenen Orten eine ungleiche Lage im Weltraume ein. Infolgedessen wird auch die Stellung, in welcher uns die Himmelskugel erscheint, eine andere werden, wenn wir unseren Standpunkt auf der Erde wechseln.

a) **Einfluß der geographischen Breite.** Es sei o (Fig. 358) ein Punkt der Erdoberfläche, c der Mittelpunkt der Erde, pp′ die Erdachse, also opp′o der Meridian des Ortes o, ferner hr die Linie, in welcher die Ebene des Meridians die des Horizonts schneidet, also die Mittagslinie des Ortes o, ferner aq der Äquatordurchmesser, in welchem die Meridianebene die Ebene des Äquators schneidet. Für einen Beobachter in o liegt dann das Zenith Z in der Verlängerung des Erdhalbmessers co über o hinaus. Denken wir uns ferner von o eine Linie nach dem Weltpole P gezogen und die Erdachse pp′ in der Richtung auf den Weltpol P′ verlängert, so ist, da die Erde im Weltraume nach §. 265 als verschwindend klein anzusehen ist, oP ∥ cP′, also Wkl. ZoP = ZcP′. Wkl. ZoP ergänzt nun die Polhöhe Por zu 90°, Wkl. ZcP′ aber die geogr. Breite oca. Wir erhalten demnach, da geogr. Breite und Polhöhe durch gleiche Winkel zu 90° ergänzt werden, den Satz:

(Fig. 358.)



Für jeden Ort auf der Erde ist die Polhöhe gleich der geographischen Breite.

Denkt man sich die Figur bis zum Durchschnitt mit dem Himmelsgewölbe erweitert und noch durch o den wahren Horizont (∥ hr) gelegt, so erkennt man leicht, daß die geogr. Breite oca gleich dem Zenithabstande des Äquators ist, und daß dieser Abstand durch den Zenithabstand des Poles, nämlich Z(c)P′, ebenso wie die Polhöhe zu 90° ergänzt wird.

Mit Hülfe des vorstehenden Satzes vermag man sich leicht den Verlauf der täglichen Bewegung des Himmels für jeden Ort zu vergegenwärtigen. Man braucht sich nur Fig. 354, S. 454 so vorzustellen, daß die Weltachse eine Richtung einnimmt, welche der Polhöhe (geogr. Breite) des Ortes entspricht. Man erkennt, daß an Orten von gleicher geogr. Breite, also auf dem nämlichen Parallelkreise, auch die Äquatorhöhe dieselbe ist; eben so auch die Höhe, in welcher ein bestimmter Stern

§. 268. Geographische Ortsbestimmung. Die Erscheinungen des vorigen §. bieten uns die Mittel zur Feststellung der geogr. Breite und Länge eines Ortes.

a) Zunächst ist die geogr. Breite gleich der Polhöhe. Diese wird angenähert durch die Höhe des Polarsterns angegeben. Sie läßt sich genauer dadurch ermitteln, daß man die Kulminationshöhe der Sonne beobachtet und dann die Deklination der Sonne subtrahiert oder addiert, je nachdem die Sonne nördlich oder südlich vom Äquator steht. Man bekommt so die Äquatorhöhe, welche die Polhöhe nach §. 262 zu 90° ergänzt. Statt der Sonne kann ebenso jeder Stern benutzt werden, dessen Deklination bekannt ist. Die genaueste Bestimmung der Polhöhe findet sich in §. 262, Anm. angegeben.

b) Hinsichtlich der geogr. Länge beachten wir, daß ein Ort, welcher 15° ostwärts von einem anderen liegt, diesem in der Zeit um 1 St. voraus ist, also der Längenunterschied zweier Orte in Graden erhalten wird, wenn man ihren Zeitunterschied in Stunden mit 15 multipliziert. Die Zeit eines Ortes vermag man, wenn der Meridian desselben bekannt ist, dadurch festzustellen, daß man den Durchgang der Sonne durch den Meridian beobachtet. Im anderen Falle kann man die Zeiten beobachten, wann vor und nach dem Mittage die Sonne gleiche Höhe hat. Das Mittel aus diesen Zeiten giebt die Zeit des wahren Mittags.

Es genügt selbst die Beobachtung einer einzigen Sonnenhöhe, indem sich aus dieser, aus der Deklination der Sonne und der Polhöhe des Ortes die Zeit der Beobachtung durch Rechnung herleiten läßt. (S. Sphärische Trigon. §. 33.)

Um den Zeitunterschied zweier Orte A und B zu finden, kann man auf zwiefache Weise verfahren. 1. Man bringt eine genaue Uhr, Chronometer, welche man nach der Zeit des einen Ortes A gestellt hat, nach dem andern Orte B und sieht zu, wieviel sie von der dortigen Uhrzeit abweicht. 2. Zwei Beobachter, der eine in A, der andere in B, sehen in demselben Augenblick nach einer die Zeit ihres Ortes angebenden Uhr und bestimmen den Zeitunterschied durch Vergleichung der beiderseitigen Uhrangaben. Um zu bewerkstelligen, daß die Ablesung der Uhren in demselben Augenblicke geschieht, benutzen die Beobachter Erscheinungen, welche für beide möglichst genau gleichzeitig eintreten. Bei weitem am besten eignen sich hierzu die Zeichen des elektrischen Telegraphen. Wo solche nicht zu Gebote stehen, wählt man Erscheinungen am Himmel, welche sich an verschiedenen Orten (genau oder nahezu) in demselben Augenblicke ereignen, wie Anfang und Ende von Sonnen- und Mondfinsternissen, von Verfinsterungen der Jupitertrabanten, von Sternbedeckungen durch den Mond u. a. m.

Über Projektionsarten, nach welchen Teile der Erde abgebildet werden, vergl. Stereom., §. 106, Anm.

§. 269. Größe und Abplattung der Erde. Bezeichnet man bei einer Kugel den Umfang eines Hauptkreises mit u, so ist der Halbmesser der Kugel

$$r = \frac{u}{2\pi},$$

wo $\pi = 3{,}14159\ldots$ ist. Es läßt sich also der Halbmesser der Erde berechnen, wenn man den Umfang eines ihrer Hauptkreise, etwa eines Meridians ermittelt hat. Dieser Umfang aber ergiebt sich leicht, sobald man die Entfernung zweier auf demselben Meridian gelegenen Orte in irgend einem Längenmaße (z. B. km) gemessen und die Größe dieses Bogens in Graden festgestellt hat. Das letztere kann man durch Bestimmung der geogr. Breite beider Orte erreichen (s. d. vor. §.), indem der Unterschied der Breiten gleich der Anzahl Grade des Meridianbogens ist.

Nach derartigen Messungen ist der Bogen von 1° (rund) = 111,1 km. Mithin ist der Umfang der Erde = 111,1 . 360 = 40 000 km, woraus sich nach der obigen Formel (in runder Zahl) der

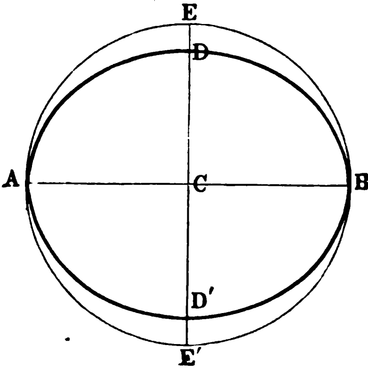
Erdhalbmesser = 6370 km

berechnet. (In geogr. Meilen, deren 15 auf 1° kommen, sodaß 1 Ml. = 7,4 km, der Umfang der Erde = 5400 Ml. ist, ergiebt sich der Halbmesser = 860.)

Im Verhältnis zum Erdhalbmesser sind die größten Berge verschwindend klein, da ihre Höhe noch nicht 9 km, also noch nicht $^1/_{700}$ des Erdhalbmessers beträgt.

Genaue Messungen haben ergeben, daß die Erde ein wenig von der Kugelgestalt abweicht, indem sie an den Polen abgeplattet ist. Denken wir uns durch die Achse DD' der Erde (Fig. 359) eine Ebene gelegt, so schneidet diese die Oberfläche der Erde in einer Ellipse DAD'B, deren große Achse AB ein Durchmesser des Äquators, deren kleine Achse DD' die Achse der Erde ist. Es hat die Erde die Gestalt eines Rotationsellipsoids, welches durch Umdrehung der Ellipse DAD'B um die kleine Achse DD' erzeugt wird.

(Fig. 359.)



Beschreiben wir mit AC um C einen Kreis, so ist derselbe gleich dem Äquator, und es ist die Ellipse bei A stärker, bei D schwächer gekrümmt, als dieser Kreis. Denken wir uns nun zwei Kreise, von denen sich der eine in A, der andere in D so eng wie möglich an die Ellipse anschmiegt, so wird der Halbmesser des ersteren kleiner, der des anderen größer sein, als AC. Der Kreisbogen von 1° fällt aber um so größer aus, je größer der Halbmesser des Bogens ist. Es muß also, wenn die Erde abgeplattet ist, ein Meridianbogen von 1°, d. i. ein Breitengrad, am Äquator bei A kleiner, am Pole bei D größer sein, als 1° auf dem Äquator. In der That haben Gradmessungen dies bestätigt.

Die Abplattung der Erde beträgt ungefähr $^1/_{300}$, d. h. die Erdachse ist um $^1/_{300}$ kleiner als ein Durchmesser des Äquators. Es sind also die Pole, da der Erdhalbmesser (rund) = 6370 km (860 Ml.) ist, dem Mittelpunkte der Erde um $^{6370}/_{300}$ = (etwas über) 21 km (beinahe 3 Ml.) näher als die Punkte des Äquators. Die Erde weicht hiernach nur sehr wenig von der Kugel ab.

1° des Äquators ist = 111,3 km; die ungleiche Länge der Meridiangrade zeigt das Folgende:

Mittlere Breite	0°	45°	90°
Länge eines Breitengrades	110,6 km	111,1 km	111,7 km

Die halbe große Achse ist (nach Bessel) = 6377 km, die halbe kleine Achse = 6356 km, also die Abplattung = $^{21}/_{6377}$ = $^1/_{299}$.

Über die Bestimmung der Länge eines Meridianbogens siehe des Verfassers Math. Geogr. und Trigonom. Über das Meter als Maßeinheit vergl. §. 4, Anm.

Genaue Gradmessungen sind zuerst von französischen Gelehrten zu Anfang des vorigen Jahrhunderts (1735) in Peru und Lappland ausgeführt worden und dann im Laufe dieses Jahrhunderts in den verschiedensten Ländern und Breiten fo[illegible] [illegible]gebnisse dieser auch gegenwärtig noch

weiter geführten Messungen deuten darauf hin, daß die wirkliche Gestalt der Erde auch nicht vollkommen mit der eines Rotationsellipsoids übereinstimmt. Man bezeichnet daher die Erde auch als Sphäroid, d. h. als einen der Kugel ähnlichen Körper.

§. 270. Achsendrehung der Erde. Betreffs der täglichen Bewegung des Himmels führt die unmittelbare Anschauung zu der Annahme, daß alle Gestirne sich in kreisförmigen Bahnen um eine durch den Mittelpunkt der Erde gehende Achse drehen. Diese Annahme erweist sich aber als höchst unwahrscheinlich, wenn man bedenkt, daß die Sonne, der Mond und sämtliche unermeßlich weit entfernten Sterne sich in derselben kurzen Zeit von 24 St. um eine solche Achse bewegen sollten. Nun lehrt die Erfahrung, daß wir häufig, wenn wir in Bewegung sind, z. B. auf der Eisenbahn, täuschend den Eindruck erhalten, als ob wir selbst in Ruhe wären, dagegen die uns sichtbaren Gegenstände sich in entgegengesetzter Richtung bewegten. Hiernach erklärt sich die tägliche Drehung des Himmels natürlicher durch die Annahme, daß die Erde selbst sich innerhalb 24 St. von Westen nach Osten um ihre Achse dreht, und daß uns infolgedessen die Gestirne am Himmel Kreise in der Richtung von Osten nach Westen zu beschreiben scheinen. — Den direkten Beweis für die Achsendrehung der Erde liefert

2) der Foucaultsche Pendelversuch. (S. §. 40, d.)

Andere Gründe, welche für die Achsendrehung der Erde sprechen, sind noch:

3) die abgeplattete Gestalt derselben. Diese erklärt sich nämlich naturgemäß als Wirkung der durch die Achsendrehung hervorgerufenen Schwungkraft, indem man annimmt, daß die Erde sich früher in einem feurig-flüssigen Zustande befunden hat. (S. auch §. 42, a.)

4) Die Ähnlichkeit mit den Planeten, bei denen Beobachtungen im Fernrohr unmittelbar eine Achsendrehung und meist auch eine Abplattung an den Polen zeigen.

5) Die Ablenkung der Passatwinde (§. 234) und die barische Windregel (§. 235).

B. Die Erde und die Sonne.

§. 271. Jährliche Bewegung der Sonne am Himmel. Während die Bewegung des Himmels von Osten nach Westen (im Sinne der Bewegung eines Uhrzeigers) geschieht, erfolgen die Bewegungen am Himmel in der Regel von Westen nach Osten (der Uhrzeigerbewegung entgegen). Bewegungen am Himmel von der letzteren Art pflegt man als rechtläufige zu bezeichnen, Bewegungen der ersteren Art als rückläufige.

Was nun die Sonne anbetrifft, so lehrt die Erfahrung, daß sie im Sommer um Mittag höher steht als im Winter, und daß ebenso im Sommer die Tage länger sind als im Winter. Zweimal im Jahre, zu Anfang des Frühlings, am 21. März, und zu Anfang des Herbstes, am 23. Sept., sind Tag und Nacht gleich; die Sonne steht dann im Äquator (vergl. §. 264). Zu Anfang des Sommers, am 21. Juni, erreichen die Tageslänge und die Mittagshöhe der Sonne ihren größten Wert; die letztere befindet sich nördlich vom Äquator. Zu Anfang des Winters, am 21. Dez., ist der Tag am kürzesten, die Mittagshöhe der Sonne am kleinsten; letztere steht südlich vom Äquator. Diese Erscheinungen zeigen, daß die Deklination der Sonne veränderlich ist. Die größte Abweichung der Sonne

vom Äquator nach Norden (am 21. Juni) und nach Süden (am 21. Dez.) beträgt ungefähr $23^{1}/_{2}{}^{0}$.

Auch die Rektascension der Sonne ist veränderlich. Die Zeit von der Kulmination der Sonne bis zu der darauf folgenden Kulmination eines Fixsternes wird nämlich von einem Tage zum anderen um ungefähr 4 Min. kleiner, ein Zeitunterschied, welcher im Laufe eines Monats zu etwa 2 St. anwächst. So steht z. B. der Orion Anfang Januar um 11 Uhr abends, Anfang Februar schon um 9 Uhr, Anfang März um 7 Uhr im Süden. Da nun in jeder Stunde 15^{0} durch den Meridian gehen, so ist also die Sonne Anfang Januar von dem Orion um $11 \cdot 15^{0}$ nach Westen hin entfernt, Anfang Februar nur noch um $9 \cdot 15^{0}$, Anfang März noch um $7 \cdot 15^{0}$ u. s. w. Der Rektascensionsunterschied zwischen der Sonne und dem Orion hat sich demnach in jedem Monate um $2 \cdot 15 = 30^{0}$ verringert. Es muß folglich die Sonne in jedem Monat um 30^{0} gegen den Orion, mithin, da dieser später durch den Meridian ging, nach Osten fortgeschritten sein.

Genaue Abmessungen ergeben, daß die Sonne am Himmel jedes Jahr den nämlichen Hauptkreis durcheilt. Dieser Kreis, die Ekliptik, schneidet den Äquator in zwei Punkten, dem Frühlings- und dem Herbstnachtgleichenpunkte. Es sei AQ (Fig. 360) der Äquator, EK die Ekliptik. Die Sonne bewegt sich dann auf dieser in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung (der Bewegung eines Uhrzeigers entgegen). Sie tritt mit Frühlingsanfang in F von der Südseite des Äquators auf die Nordseite, geht Anfang Sommer durch den Punkt K, welcher um 90^{0} von den Nachtgleichenpunkten entfernt ist, sinkt mit Beginn des Herbstes in H wieder auf die Südseite des Äquators und wandert mit Beginn des Winters durch den von den Nachtgleichenpunkten ebenfalls um 90^{0} entfernten Punkt E. Die Punkte K und E, in denen die Sonne ihren größten nördlichen und südlichen Abstand vom Äquator erreicht, heißen die Punkte der Sommer- und Winter-Sonnenwende oder das Sommer- und Wintersolstitium; der Winkel aber, welchen die Ekliptik mit dem Äquator bildet, wird die Schiefe der Ekliptik genannt. Denken wir uns einen Deklinationskreis durch K und E gelegt, so stellt Bg. KQ die größte nördliche Abweichung der Sonne vom Äquator dar (und EA die größte südliche). Dieser Bogen mißt zugleich den Winkel KMQ zwischen Ekliptik und Äquator. Demnach beträgt zufolge des Obigen die Schiefe der Ekliptik (rund) $23^{1}/_{2}{}^{0}$.

(Fig. 360.)

Schon im frühen Altertume hat man die Ekliptik (den Monaten des Jahres entsprechend) in 12 gleiche Teile geteilt. Dieselben werden vom Frühlingspunkte nach Osten hin gezählt und führen die nachstehenden Namen und Zeichen:

Widder	Stier	Zwillinge	Krebs	Löwe	Jungfrau
♈	♉	♊	♋	♌	♍
Wage	Scorpion	Schütze	Steinbock	Wassermann	Fische
♎	♏			♒	♓

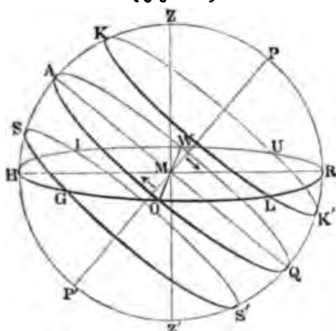
Demnach bilden die ersten 30° der Ekliptik (s. auch Fig. 360) das Zeichen des Widders, die folgenden 30° das Zeichen des Stiers u. s. w. Diese Zeichen haben die gleichen Namen erhalten, wie die Sternbilder, durch welche sich die Ekliptik hindurchzieht. Die Sternbilder aber sind größtenteils nach Tieren benannt; deswegen heißt der breite Gürtel, welchen sie zu beiden Seiten der Ekliptik bilden, **Tierkreis** (**Zodiakus**).

Es fallen übrigens die Zeichen der Ekliptik jetzt nicht mehr mit den gleichnamigen Sternbildern zusammen; vielmehr liegt ein jedes Zeichen um etwa 30° westwärts von dem Sternbilde gleichen Namens, fällt also mit dem vorhergehenden Sternbilde zusammen. So liegt z. B. das Zeichen des Widders, d. h. der 1. Teil (von 0°—30°) im Sternbilde der Fische, das Zeichen des Stiers, d. h. der 2. Teil (von 30°—60°) im Sternbilde des Widders u. s. w. (Erklärung siehe §. 274.)

§. 272. Von den Jahreszeiten. Der **Wechsel der Jahreszeiten** erklärt sich nach dem vorigen §. als Folge des Umstandes, daß die Bahn der Sonne am Himmel gegen den Äquator geneigt ist. Wegen der Schiefe der Ekliptik fällt nämlich der infolge der täglichen Drehung des Himmels von der Sonne durchlaufene Parallelkreis je nach der Stellung, welche sie in der Ekliptik einnimmt, bald nördlich, bald südlich von dem Äquator, bald mit diesem zusammen. Der Parallelkreis erreicht seinen größten Abstand vom Äquator nach Norden, wenn die Sonne am 21. Juni in das Zeichen des Krebses (bei K, Fig. 360, S. 464), seinen größten Abstand nach Süden, wenn sie am 21. Dez. in das Zeichen des Steinbocks (bei E) eintritt. Der erstere Parallelkreis wird daher der **nördliche Wendekreis** oder **Wendekreis des Krebses**, der letztere der **südliche Wendekreis** oder **Wendekreis des Steinbocks** genannt.

Den Verlauf der Jahreszeiten für einen beliebigen Ort vermag man sich nun leicht zu vergegenwärtigen. Es sind die hierher gehörigen Erscheinungen die gleichen für alle Orte, welche dieselbe Polhöhe, also nach §. 267 dieselbe geogr. Breite haben.

(Fig. 361.)



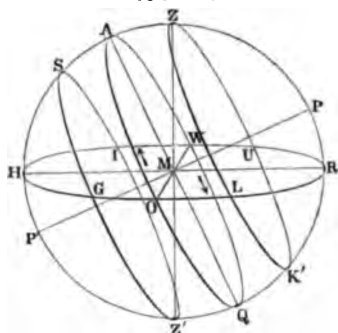
Für einen Ort in der Breite von 50° sind die Erscheinungen in den Hauptzügen die folgenden: Es sei HR (Fig. 361) der Horizont, AQ der Äquator, PP' die Weltachse, ZZ' die Scheitellinie, KK' der Wendekreis des Krebses, SS' der des Steinbocks. Dann ist die Polhöhe PR = 50°, also die Äquatorhöhe AH = 40°, ferner der Abstand der Wendekreise vom Äquator KA = SA = $23^1/_2$°.

Am 21. März steht die Sonne im Äquator, geht also um 6 Uhr morgens im Ostpunkte O auf, erreicht mittags die Höhe AH = 40° und geht abends um 6 Uhr im Westpunkte W wieder unter. — Am 21. Juni durcheilt die Sonne den Wendekreis des Krebses KK'. Da der Tagbogen LKU (ungefähr) $^2/_3$ des ganzen Kreises beträgt, so weilt die Sonne an diesem Tage 16 St. über dem Horizont; sie geht um 4 Uhr morgens im Nordosten (Morgenweite LO = ungefähr 40°) auf und abends um 8 Uhr im

Nordwesten (Abendweite UW = 40°) wieder unter; ihre Mittagshöhe ist KH = KA + AH = $23\frac{1}{2}^\circ + 40^\circ = 63\frac{1}{2}^\circ$. — Am 23. Sept. sind die Erscheinungen dieselben wie am 21. März. — Am 21. Dez. beschreibt die Sonne den Wendekreis des Steinbocks SS'. Der Tagbogen GSI ist (ungefähr) $\frac{1}{3}$ des ganzen Parallelkreises. Die Sonne befindet sich daher 8 St. über dem Horizont; sie geht morgens um 8 Uhr im Südosten (Morgenweite GO = 40°) auf und abends um 4 Uhr im Südwesten (Abendweite IW = 40°) wieder unter. Mittags erreicht die Sonne nur die Höhe SH = HA − SA = $40^\circ - 23\frac{1}{2}^\circ = 16\frac{1}{2}^\circ$. Der am 21. Dez. beschriebene Tagbogen GSI ist gleich dem am 21. Juni beschriebenen Nachtbogen UK'L. Der kürzeste Tag des Jahres ist daher gleich der kürzesten Nacht, der längste gleich der längsten Nacht.

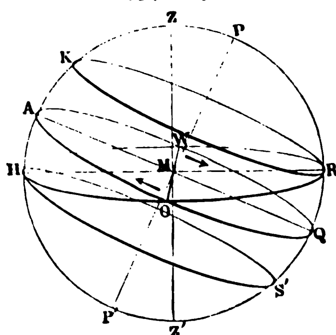
Für einen Ort auf dem Äquator (Weltpole im Horizont, s. §. 267) weilt die Sonne an jedem Tage des Jahres 12 St. über und 12 St. unter dem Horizont; es ist daselbst das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht gleich. 2 mal im Jahre, am 21. März und am 23. Sept., geht die Sonne mittags durch das Zenith. Die geringste Mittagshöhe erreicht sie am 21. Juni und am 21. Dez.; an dem ersteren Tage erfolgt ihr Durchgang durch den Meridian nördlich, am letzteren südlich vom Zenith in einem Abstande von $23\frac{1}{2}^\circ$; die geringste Mittagshöhe beträgt demnach $66\frac{1}{2}^\circ$.

(Fig. 362.)



Bei einer nördlichen Breite von $23\frac{1}{2}^\circ$ (Fig. 362) ist die Polhöhe PR ebenfalls = $23\frac{1}{2}^\circ$, desgleichen der Abstand AZ des Äquators vom Zenith. Es geht demnach der Wendekreis des Krebses durch das Zenith Z (der des Steinbocks durch das Nadir Z'); die Äquatorhöhe AH beträgt $66\frac{1}{2}^\circ$. In einer nördlichen Breite von $23\frac{1}{2}^\circ$ erreicht die Sonne das Zenith nur noch am 21. Juni (im Zeichen des Krebses); an allen anderen Tagen des Jahres kulminiert sie südlich von demselben. Die geringste Mittagshöhe (am 21. Dez.) ist SH = AH − SA = $66\frac{1}{2}^\circ - 23\frac{1}{2}^\circ = 43^\circ$. — An Orten, welche dem Äquator näher liegen, erscheint die Sonne jedes Jahr 2 mal im Zenith, an Orten, welche weiter vom Äquator abstehen, erreicht sie das Zenith überhaupt nicht. Der Breitenkreis der Erde, welcher $23\frac{1}{2}^\circ$ nördlich vom Äquator liegt, bildet also die nördliche Grenze für die Orte, an denen die Sonne im Zenith erscheinen kann. Man bezeichnet ihn daher als **nördlichen Wendekreis** oder **Wendekreis des Krebses**.

(Fig. 363.)



In einer nördlichen Breite von $66\frac{1}{2}^\circ$ ($23\frac{1}{2}^\circ$ vom Nordpol) sieht ein Beobachter den Nordpol des K[...] in einem Zenithabstande

PZ = $23\frac{1}{2}^\circ$; da hiernach ebenfalls [...] = QR = $23\frac{1}{2}^\circ$ ist, so

berührt der nördliche Wendekreis den Horizont im Nordpunkte R und liegt übrigens ganz oberhalb. Der südliche Wendekreis trifft dagegen den Horizont im Südpunkte H und befindet sich sonst ganz unter dem Horizont. In einer Breite von $66^1/_2{}^0$ ist mithin die Sonne am 21. Juni volle 24 St. sichtbar, indem sie den Wendekreis RK beschreibt, also im Nordpunkte R auf- und untergeht; sie erreicht mittags die Höhe $KH = 2 . 23^1/_2{}^0 = 47^0$. Andererseits geht die Sonne am 21. Dez., an welchem Tage sie den Wendekreis HS' durcheilt, gar nicht auf; sie ist nur eben mittags im Südpunkte H wahrzunehmen. Der Parallelkreis der Erde, welcher um $23^1/_2{}^0$ vom Nordpole absteht, wird der nördliche Polarkreis genannt.

Für einen Beobachter am Nordpol (Äquator im Horizont, s. §. 267) beschreibt die Sonne täglich einen dem Horizont parallelen Kreis. Sie befindet sich vom 21. März bis 23. Sept., also ein volles halbes Jahr, über dem Horizont, in der anderen Hälfte des Jahres dagegen unter dem Horizont. Am 21. Juni erreicht sie ihre größte Höhe von $23^1/_2{}^0$. — An Orten, welche vom Pol um weniger als $23^1/_2{}^0$ abstehen, weilt die Sonne zur Zeit des Sommersolstitiums länger als 24 St. über, zur Zeit des Wintersolstitiums länger als 24 St. unter dem Horizont. Der nördliche Polarkreis bildet vom Pol aus gerechnet die Grenze für die Orte, an welchen die Sonne am 21. Juni nicht unter-, am 21. Dez. nicht aufgeht.

Für die südliche Halbkugel ist der Verlauf der Erscheinungen ein ganz entsprechender. Unter einer südlichen Breite von $23^1/_2{}^0$ tritt die Sonne nur noch einmal im Jahre in das Zenith und zwar zu Anfang unseres Winters, am 21. Dez., wenn die Sonne in das Zeichen des Steinbocks eintritt. Man nennt daher den Breitenkreis, welcher $23^1/_2{}^0$ südlich vom Äquator gelegen ist, südlichen Wendekreis oder Wendekreis des Steinbocks. In einer südlichen Breite von $66^1/_2{}^0$ geht die Sonne am 21. Dez. gar nicht unter, am 21. Juni gar nicht auf. Der Breitenkreis, welcher $23^1/_2{}^0$ vom Südpol absteht, wird südlicher Polarkreis genannt. Am Südpol befindet sich die Sonne vom 23. Sept. bis 21. März über dem Horizont, also gerade in der Hälfte des Jahres, in welcher sie am Nordpol unsichtbar ist; ihre größte Höhe von $23^1/_2{}^0$ erreicht sie mit Beginn unseres Winters am 21. Dez.; in der Zeit vom 21. März bis 23. Sept. bleibt sie am Südpol unter dem Horizont.

Auf Grund der hier angeführten Erscheinungen unterscheidet man auf der Erde fünf Zonen: die heiße Zone zwischen den beiden Wendekreisen, die nördliche und südliche gemäßigte Zone zwischen je einem Wendekreise und einem Polarkreise, die nördliche und südliche kalte Zone jenseits der Polarkreise.

Denken wir uns den Mittelpunkt der Sonne mit dem Mittelpunkte der Erde durch eine Gerade verbunden (s. Fig. 357, S. 458), so schneidet diese die Oberfläche der Erde in einem Punkte, für welchen die Sonne gerade im Zenith steht, und es beschreibt der Schnittpunkt bei jedem täglichen Umlaufe der Sonne am Himmel auf der Erdkugel einen Breitenkreis, welcher dort die nämliche Lage hat, wie der von der Sonne durchlaufene Kreis an der Himmelskugel; insbesondere entsprechen den Wendekreisen am Himmel die Wendekreise auf der Erde.

Da die Ekliptik bei den Solstitien (E u. K, Fig. 360, S. 464) eine dem Äquator parallele Richtung hat, so ändert die Sonne in dieser Gegend ihre Deklination nur sehr langsam; am stärksten sind die Änderungen in den Äquinoktialpunkten (F und H), wo die Richtung der Ekliptik mit dem Äquator den größten Winkel ($23^1/_2{}^0$) bildet. Infolge dieser Schwankungen nehmen die Tage Anfang

Sommer und Winter nur unmerklich ab und zu, ein Umstand, auf welchen sich der Name Solstitien (Sonnenstillstandspunkte) bezieht; am raschesten ändern sich die Tageslängen Anfang Frühling und Herbst.

Im obigen haben wir den Einfluß der atmosph. Strahlenbrechung nicht in Betracht gezogen. Durch dieselbe werden die Tageslängen etwas vergrößert, die Nachtlängen entsprechend verkürzt. (Näheres s. §. 198 und in des Verfassers Math. Geogr. 3. Aufl.)

Vor Aufgang und nach Untergang der Sonne wird das Dunkel der Nacht erheblich vermindert durch die **Morgen-** und **Abenddämmerung** (s. §. 194).

§. 273. Länge und Breite am Himmel. Wie (nach §. 264) der Äquator, so kann auch die Ekliptik zur Darstellung von Punkten am Himmel dienen. Man denkt sich zu dem Zweck durch die Pole der Ekliptik, d. h. durch die Punkte der Himmelskugel, welche von der Ekliptik um 90° abstehen, Kreise, sogenannte **Breitenkreise**, gelegt, und indem man den durch den Frühlingspunkt gehenden als ersten annimmt, zählt man die andern nach Osten weiter. Der Winkel, welchen der Breitenkreis eines Sternes mit dem ersten Breitenkreise bildet, oder der ihm gleiche Bogen auf der Ekliptik wird die **Länge**, der Bogen des Breitenkreises zwischen Stern und Ekliptik aber die **Breite** des Sternes genannt.

Wenn zwei Himmelskörper die nämliche Länge haben, also in demselben Breitenkreise stehn, so sagt man, sie stehn in **Konjunktion**; unterscheiden sich ihre Längen um 180°, so nennt man diese Stellung **Opposition**; endlich bezeichnet man mit **Quadratur** die Stellung, bei welcher der Unterschied der Längen 90° beträgt.

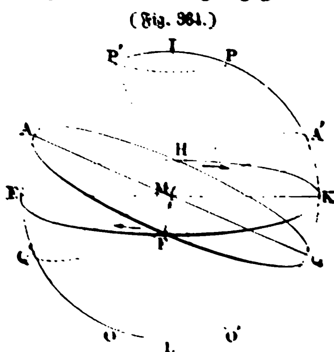
Durch trigonometrische Rechnung lassen sich aus Rektascension und Deklination Länge und Breite und umgekehrt aus Länge und Breite Rektascension und Deklination ableiten (s. Sphärische Trigonom.).

§. 274. Rückgang der Nachtgleichen. Im Laufe der Jahre ändert sich die Rektascension und Deklination der Fixsterne ein wenig und zwar scheinbar ganz unregelmäßig. Wird aber die Lage der Fixsterne auf die Ekliptik bezogen, so ergiebt sich, daß bei allen Fixsternen die Breite unverändert bleibt, daß dagegen die Länge mit jedem Jahre (ungefähr) 50" zunimmt.

Hieraus geht hervor, daß die Ekliptik ihre Lage am Fixsternhimmel beibehält, daß aber der Frühlingspunkt und folglich auch der Herbstpunkt auf der Ekliptik nach Westen fortrückt.

In dieser rückgängigen Bewegung der Nachtgleichen liegt auch die Erklärung dafür, daß die Zeichen der Ekliptik jetzt nicht mehr mit den gleichnamigen Sternbildern zusammenfallen. Es sind nämlich seit der ursprünglichen Einteilung der Ekliptik so viele Jahre (über 2000) verflossen, daß der Frühlingspunkt um etwa 30° in der Ekliptik zurückgegangen ist.

(Fig. 364.)



Indem die Nachtgleichenpunkte, also die Punkte, in denen der Äquator die Ekliptik schneidet, ihre Lage verändern, muß auch der Äquator selbst eine Änderung seiner Lage erfahren. Es seien EK (Fig. 364) die Ekliptik, I und L deren Pole, ferner AQ der Äquator, P und O die Weltpole, F und H der Frühlings- und Herbstpunkt. Der Äquator AQ dreht sich dann so, daß die Nachtgleichenpunkte F und H nach Westen (im Sinne der Uhrzeigerbewegung) auf der festliegenden Ekliptik fortrücken [illegible] die Schiefe der Ekliptik, d. h. Wkl. AME,

die nämliche Größe ($23\frac{1}{2}^0$); es muß daher auch die Weltachse PO sich so um die Verbindungslinie der Ekliptikpole IL drehen, daß der Abstand des Weltpoles P vom Pole I der Ekliptik (und des Poles O von L) stets derselbe ($23\frac{1}{2}^0$) bleibt und folglich der Weltpol sich in einem Kreise um den festen Pol der Ekliptik bewegt. Ist etwa F über E nach H, also H über K nach F fortgeschritten und der Äquator folglich aus der Lage AQ in die Lage A'Q' übergegangen, so wird der Weltpol P sich in einem Halbkreise PP' um den festen Pol I der Ekliptik bewegt haben, und er wird einen ganzen Kreis beschrieben haben, wenn die Nachtgleichen einen Umlauf auf der Ekliptik vollendet haben, der Äquator wieder in die Lage AQ zurückgekehrt ist. Hierzu sind, da die Nachtgleichen jährlich 50″, also in 72 Jahren ungefähr 1^0 zurückgehen, nahezu 26 000 Jahre erforderlich.

Das Vorstehende zeigt, daß die Richtung der Erdachse, deren Verlängerung eben die Weltachse bildet, einer freilich nur äußerst geringen, aber stetigen Änterung unterworfen ist.

Infolge des Rückganges der Nachtgleichen wird sich der Weltpol in den nächsten Jahrhunderten dem Polarstern, von welchem er gegenwärtig $1\frac{1}{2}^0$ entfernt ist, bis auf $\frac{1}{2}^0$ nähern, sich dann aber wieder weiter von ihm entfernen.

Auch die Schiefe der Ekliptik oder die Neigung der Erdachse gegen die Ekliptik ist kleinen Schwankungen (von noch geringerer Größe) unterworfen, welche man die **Nutation** der Erdachse nennt. Desgleichen ist auch die Lage der Ekliptik etwas veränderlich.

Über die Ursache dieser Schwankungen siehe §. 295.

§. 275. Das Jahr. Unter einem Jahre versteht man die Zeit, in welcher die Sonne einen Umlauf am Himmel vollendet. Nun geht zufolge des vorig. §. der Frühlingspunkt in der Ekliptik allmählich gen Westen zurück, kommt also der Sonne, welche gen Osten fortschreitet, gleichsam entgegen. Letztere braucht daher, um zum Frühlingspunkte zurückzukehren, keine vollen 360^0 zu durchlaufen. Hiernach unterscheidet man das siderische und das tropische Jahr. Das **siderische Jahr**, die wirkliche Umlaufszeit der Sonne, ist die Zeit, nach welcher die Sonne wieder bei dem nämlichen festen Punkte der Ekliptik (dem nämlichen Fixstern) ankommt. Das **tropische Jahr** ist die Zeit, nach welcher die Sonne wieder den nämlichen Abstand vom Frühlingspunkte erlangt. Nach dem Obigen muß das tropische Jahr um ein Geringes kürzer sein als das siderische. Der Frühlingspunkt rückt der Sonne jährlich etwa 50″ entgegen; die Sonne aber durchläuft die Ekliptik in (rund) 365 Tagen, mithin 50″ in 20 Min. Es ist daher das tropische Jahr ungefähr um 20 Min. kürzer als das siderische. Da der Verlauf der Jahreszeiten davon abhängt, wie weit sich die Sonne in der Ekliptik von dem Frühlingspunkte entfernt hat, so **gilt als bürgerliches Jahr das tropische**. Die Dauer dieses Jahres beträgt beinahe $365\frac{1}{4}$ Tag.

Da das Jahr (rund) $\frac{1}{4}$ Tag länger als 365 Tg. ist, so würde der Anfang des Frühlings, überhaupt der Jahreszeiten, wenn man jedes Kalenderjahr zu 365 Tg. rechnen wollte, nach je 4 Jahren um einen Tag im Jahre weiter vorrücken. Um eine derartige Verschiebung der Jahreszeiten zu vermeiden, schaltet man alle 4 Jahre und zwar Ende Februar einen Tag ein und jedesmal in dem Jahre, dessen Zahl durch 4 teilbar ist. Schaltjahre sind also z. B. 1892, 1896 u. s. w. Nun übertrifft das Jahr 365 Tg. nicht ganz um $\frac{1}{4}$ Tg. Auf die angegebene Weise schaltet man daher etwas zuviel ein, ein Überschuß, welcher in 400 Jahren ungefähr auf 3 Tg. anwächst. Deshalb läßt man in je 400 Jahren 3 Schalttage ausfallen, und zwar macht man in dem letzten Jahre eines Jahrhunderts nur dann

einen Schalttag, wenn die Zahl des Jahres durch 400 teilbar ist. Hiernach bekommen z. B. die Jahre 2000, 2400 . . . einen Schalttag; dagegen fällt er aus in 1900, 2100, 2200 u. s. w. — Auch dieses Schaltverfahren ist noch nicht vollkommen genau; doch wächst der Fehler erst nach ungefähr 4000 Jahren auf einen vollen Tag an.

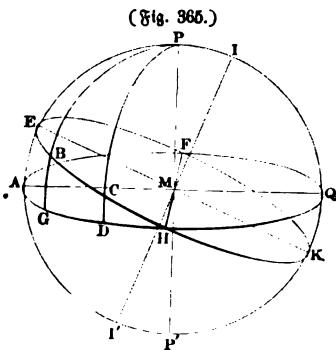
Die Zeitrechnung, bei welcher man alle 4 Jahre ohne Ausnahme einen Tag einschaltet, ist von Julius Cäsar (46 v. Chr.) angeordnet und wird daher die Julianische genannt. Nach Einführung derselben rückte dem Obigen entsprechend der Anfang des Frühlings auf ein immer früheres Datum. Im Jahre 325 auf dem Konzil zu Nicäa berichtigte man diesen Fehler durch Auslassen von 3 Tagen.*) Da man indes die Julianische Zeitrechnung beibehielt, so verschob sich der Anfang der Jahreszeiten aufs neue. 1582 war diese Abweichung auf 10 Tage angewachsen. Da ließ Papst Gregor XIII. zunächst 10 Tage ausfallen und verordnete zugleich, daß künftig in je 400 Jahren 3 Schalttage fortzulassen seien. Die Zeitrechnung heißt daher die Gregorianische. — Die Russen haben noch den Julianischen Kalender; sie sind daher gegen unsere Zeitrechnung gegenwärtig um 12 Tg. zurück.

Die genaue Dauer des tropischen Jahres beträgt 365,2422 Tg., die des siderischen 365,25635 Tg.

§. 276. **Die Zeitgleichung.** Da die Sonne in (rund) 365 Tg. einen Umlauf in der Ekliptik vollendet, so schreitet sie täglich unter den Fixsternen um ungefähr 1° nach Osten hin fort; um ebensoviel bleibt sie demnach bei der täglichen Drehung des Himmels hinter den Fixsternen zurück. Wenn daher die Stelle des Himmels, welche die Sonne vor 24 St. (Sternzeit) einnahm, wieder durch den Meridian hindurchgeht, so ist die Sonne von demselben noch um 1° gegen Osten hin entfernt. Sie tritt erst wieder in den Meridian, nachdem das Himmelsgewölbe sich noch um 1° gedreht hat, was in 4 Min. geschieht. Um soviel ist daher der wahre Sonnentag länger als der Sterntag (vergl. §. 263).

Dieser Überschuß hat jedoch nicht zu allen Zeiten des Jahres genau die nämliche Größe; die wahren Sonnentage sind von wechselnder Länge. Ein Grund hierfür liegt darin, daß die Sonne am Himmel in der einen Hälfte des Jahres schneller, in der anderen langsamer fortschreitet. Sie bewegt sich am schnellsten Anfang Januar, am langsamsten Anfang Juli. Demnach muß der wahre Sonnentag, folglich auch der Überschuß desselben über den Sterntag im Winter größer sein als im Sommer.

(Fig. 365.)



Eine noch größere Ungleichheit in der Länge der Sonnentage wird dadurch herbeigeführt, daß die Ekliptik gegen den Äquator geneigt ist. Es sei AQ (Fig. 365) der Äquator, EK die Ekliptik; ferner seien durch die Punkte B und C der Ekliptik die Deklinationskreise PG und PD gelegt. Der Überschuß der Sonnentage über den Sterntag ist nun nicht proportional dem von der Sonne während eines Tages durchlaufenden Bogen (BC) auf der Ekliptik (der Änderung ihrer Länge), sondern dem von ihrem Deklinations-

*) Auch wurde festgesetzt, daß das Osterfest an dem Sonntage, welcher auf den ersten Vollmond nach der Frühlingsnachtgleiche folgt, gefeiert werden sollte. Es kann hiernach Ostern nie früher als auf den 22. März und nie später als a[illegible].

kreise beschriebenen Winkel, d. h. dem diesem gleichen Bogen (GD) auf dem Äquator, also der Änderung ihrer Rektascension. Da in 1 St. 15° durch den Meridian gehen, so giebt der Bogen, um welchen die Rektascension der Sonne von einem Mittage zum andern wächst, durch 15 dividiert, in Stunden die Zeit an, um welche der Sonnentag länger ist als der Sterntag. Nun ist aber Bg. GD < BC und in noch stärkerem Maße DH < CH, dagegen ist Bg. AG > EB. (Die Ekliptik ist nämlich bei E dem Äquator parallel, die Deklinationskreise aber gehen gegen diesen hin immer weiter auseinander.) Es ist also die Größe, um welche die Rektascension der Sonne von einem Mittage zum andern wächst, zur Zeit der Solstitien, wenn die Sonne bei E oder K steht, größer, zur Zeit der Nachtgleichen, wenn sie sich bei H oder F befindet, kleiner als die entsprechende Zunahme in der Länge der Sonne. Zu Anfang des Sommers und Winters übertrifft daher die Dauer des wahren Sonnentages die des Sterntages um mehr als zur Zeit der Nachtgleichen. Der Unterschied zwischen dem längsten und kürzesten Sonnentage beträgt beinahe 1 Min.

Für die gewöhnliche Zeitmessung nimmt man als unveränderliche Einheit den mittleren Sonnentag, d. h. das arithmetrische Mittel aller wahren Sonnentage des Jahres (vergl. §. 263). Der Unterschied zwischen dem Mittage des mittleren und wahren Sonnentages wird die Zeitgleichung genannt. Es ist dies die Zeit, welche man zur wahren Zeit hinzufügen oder davon abziehen muß, um die mittlere Zeit zu erhalten. Sie kann sich auf etwas mehr als $^1/_4$ St. belaufen. Um soviel können also die Angaben einer gewöhnlichen Uhr bei richtigem Gange von denen einer Sonnenuhr abweichen.

Ein Sterntag ist die Zeit der Achsendrehung der Erde. Während eines Sonnentages dreht sich dagegen die Erde nicht nur einmal vollständig herum, sondern auch noch um soviel Grad, als die Rektascension der Sonne innerhalb des Tages gewachsen ist. Da nun die Sonne in (rund) $365^1/_4$ Sonnentagen einen Umlauf von 360° vollendet, so muß die Erde in dieser Zeit sich $365^1/_4$ mal und noch um 360° gedreht, im ganzen also $366^1/_4$ Umdrehungen ausgeführt heben. Es sind demnach $365^1/_4$ mittl. Sonnentage = $366^1/_4$ Sterntage; daraus ergiebt sich

1 mittl. Sonnentag = $24^h\ 3^m\ 56{,}6^s$ (Sternzeit); 1 Sterntag = $23^h\ 56^m\ 4{,}1^s$ (mittl. Zeit).

Zur Bestimmung der mittleren Zeit denken sich die Astronomen eine Sonne, welche mit unveränderter Geschwindigkeit binnen Jahresfrist den Äquator durcheilt. Die Zeit der oberen Kulmination dieser gedachten mittleren Sonne ist der mittlere Mittag. Weiter nehmen die Astronomen an, daß zu einer bestimmten Zeit (am 25. Dez., wo die Rektascension der wirklichen Sonne am stärksten zunimmt) die mittlere Sonne sich mit der wahren in dem nämlichen Deklinationskreise befinde. An diesem Tage gehen dann beide Sonnen gleichzeitig durch den Meridian; der wahre und der mittlere Mittag fallen zusammen. Indem aber die wahre Sonne in der Ekliptik, die mittlere auf dem Äquator weiter wandert, wird die erstere der letzteren bald etwas vorauseilen, bald hinter derselben zurückbleiben. Die Zeit nun zwischen der Kulmination der wahren und der der mittleren Sonne ist die Zeitgleichung. Ist im Augenblick des wahren Mittags die mittlere Sonne schon durch den Meridian gegangen, so ist die Zeitgleichung zur wahren Zeit hinzuzufügen, um die mittlere Zeit zu erhalten; befindet sich aber die mittlere Sonne noch ostwärts vom Meridian, so ist die Zeitgleichung von der wahren Zeit abzuziehen.

Die folgende Übersicht zeigt, wann die Zeitgleichung den Wert 0, sowie ihre größten positiven und negativen Werte erlangt, so wie auch diese Werte selbst.

25. Dez. .	0.	15. April . .	0.	15. Juni . .	0.	1. Sept. . .	0.
12. Febr. .	$+ 14{,}5^m$.	14. Mai . .	$- 3{,}9^m$.	26. Juli . .	$+ 6{,}2^m$.	3. Nov. . .	$- 16{,}3^m$.

Da der wahre Mittag die Zeit zwischen Auf- und Untergang der Sonne gerade halbiert, so muß die Länge von Vor- und Nachmittag nach mittlerer Zeit an solchen Tagen, an denen der mittlere

[illegible] — [illegible] Bahn [illegible] Juni.

§. 277. Bewegung der Erde um die Sonne. [illegible] Sonne während eines Jahres einen Umlauf um [illegible] die Erklärung [illegible], daß sich die Erde um die Sonne bewegt [illegible] Bewegung die Sonne einen Kreis am Himmel zu beschreiben scheint. [illegible] Fig. [illegible] die Sonne, abcd die Bahn der Erde und ABCD der Kreis, in welchem die Himmelskugel von der erweiterten Ebene der Erdbahn geschnitten wird. Wir erblicken dann, wenn die Erde in a steht, die Sonne in A, und wenn die Erde sich in b, c, d befindet, die Sonne in B, C, D, so daß uns also die Sonne, während wir selbst um dieselbe einen Umlauf in der Folge abcd machen, sich am Himmel in der Folge ABCD zu bewegen scheint.

Gewichtige Gründe (s. §. 292) haben dahin geführt, daß die letztere Ansicht, der zufolge sich die Erde um die Sonne bewegt*, die richtige ist. Wir haben demnach die Ekliptik ABCD als denjenigen Kreis [illegible] anzusehen, in welchem die erweiterte Ebene der Erdbahn abcd das Himmelsgewölbe durchschneidet.

Indem nun die Erde einen Umlauf in ihrer Bahn vollendet, erleiden die Weltpole und der Äquator am Himmel keine Veränderung.* Hieraus folgt, daß die Erdachse beim Umlaufe der Erde um die Sonne stets auf den nämlichen Punkt des Fixsternhimmels gerichtet bleibt. Da ferner die Ebene des Äquators mit der Ebene der Ekliptik unverändert einen Winkel von $23\frac{1}{2}^0$ bildet und die Erdachse auf der Äquatorebene senkrecht steht, so ergiebt sich weiter, daß die Erdachse gegen die Ebene der Erdbahn beständig unter einem Winkel von $66\frac{1}{2}^0$ geneigt ist. Diese Erscheinungen führen zu folgenden Sätzen:

1) Bei der Bewegung der Erde um die Sonne behält die Erdachse in allen Punkten ihrer Bahn die nämliche Richtung bei, schreitet also in paralleler Lage fort (s. auch §. 20).

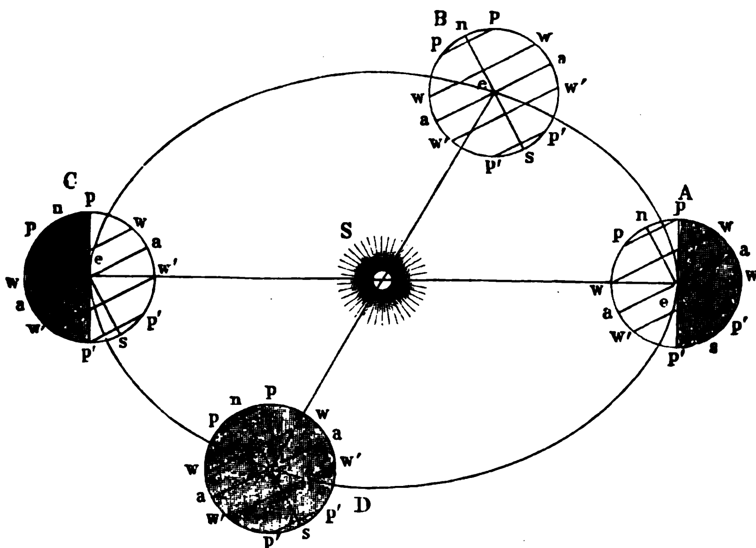
2) Gegen die Entfernung bis zum nächsten Fixstern ist die ganze Erdbahn als verschwindend kleines Ringelchen anzusehen (vergl. §. 265).

* [illegible] für die Bewegung der Erde um die Sonne sprechen, sind: 1) die größere [illegible] der viel mal kleinere Körper mit der kleineren Masse sich um den größern [illegible] Ähnlichkeit der Erde mit den Planeten, bei denen unmittelbar aus den [illegible] sich um die Sonne bewegen (s. §. 292); 3) das Gravitationsgesetz [illegible] (§. 283) und 5) die Aberration des Lichtes (§. 284).

* nach [illegible] auf den [illegible] Rückgange der Nachtgleichen (§. 274).

§. 278. Erklärung der Jahreszeiten aus der Bewegung der Erde um die Sonne. Zur Erklärung des Wechsels der Jahreszeiten ist zu beachten, daß die Erdachse gegen die Erdbahn unter einem Winkel von $66^1/_2{}^0$ geneigt ist, und daß sie ferner beim Umlauf der Erde um die Sonne in paralleler Lage fortschreitet. Man erkennt dann, daß in der einen Hälfte des Jahres die nördliche, in der andern die südliche Hälfte der Erdachse gegen die Sonne hin geneigt ist, und daß infolge hiervon in der einen Hälfte des Jahres die nördliche, in der andern die südliche Erdhälfte von der Sonne stärker erleuchtet und erwärmt wird. In Fig. 367 soll

(Fig. 367.)



S die Sonne und A, B, C, D die Erde in 4 Hauptpunkten ihrer (perspektivisch gezeichneten) Bahn vorstellen. In A bildet die nördliche Hälfte en der Erdachse ns, in C die südliche Hälfte es mit dem Halbmesser der Erdbahn eS den kleinsten Winkel von $66^1/_2{}^0$; in B und D aber bildet die Erdachse ns mit dem Halbmesser der Erdbahn eS rechte Winkel. In A befindet sich die Erde zur Zeit der Sommer-, in C zur Zeit der Winter-Sonnenwende, in B und D aber zur Zeit der Herbst- und Frühlingsnachtgleichen.

Zur Zeit der Sommer-Sonnenwende in A bleibt die Sonne am nördlichen Pol n den ganzen Tag sichtbar. Ihr Zenithabstand wird durch Wkl. neS oder Bg. nw gemessen, ist also $= 66^1/_2{}^0$, ihre Höhe mithin $= 23^1/_2{}^0$. Am Pole würde man daher, indem die Erde sich um ihre Achse dreht, die Sonne in der Höhe von $23^1/_2{}^0$ einen dem Horizonte parallelen Kreis beschreiben sehen. Am nördlichen Polarkreise pp sieht man um Mittag (in dem links von n liegenden p) die Sonne in dem Zenithabstande wp $= 66^1/_2{}^0 - 23^1/_2{}^0 = 43^0$, also in der Höhe von 47^0; um Mitternacht aber (in dem rechts von n gelegenen p) erblickt man die Sonne eben im Horizont, indem die nach der (unendlich fernen) Sonne gezogene Linie mit eS parallel läuft; die Sonne geht also zur Zeit der Sommer-Sonnenwende für die ganze nördliche

kalte Zone nicht unter, während sie für die südliche kalte Zone p′sp′ beständig unter dem Horizonte weilt und am südlichen Polarkreise p′p′ nur um Mittag eben im Horizont erscheint. — Am nördlichen Wendekreise ww erreicht die Sonne um Mittag das Zenith; auf dem Äquator aa bleibt sie vom Zenith um Bg. aw = $23\tfrac{1}{2}^0$ entfernt, auf dem südlichen Wendekreise w′w′ aber um den Bg. ww′ = 47^0; sie erreicht für denselben nur eine Höhe von 43^0.

Die Lichtgrenze pep′ (ein Hauptkreis) halbiert den Äquator aa; sie teilt dagegen die nördlich oder südlich vom Äquator gelegenen Parallelkreise in ungleiche Teile und zwar die nördlichen so, daß der erleuchtete Teil den unerleuchteten und folglich der Tag die Nacht, die südlichen in der Art, daß der unerleuchtete Teil den erleuchteten, also die Nacht den Tag übertrifft, bis jenseit des nördlichen Polarkreises die Sonne nicht mehr unter-, jenseit des südlichen nicht mehr aufgeht. Die Lichtgrenze halbiert aber den Äquator nicht bloß zur Zeit der Sommer-Sonnenwende, sondern auch an allen andern Tagen des Jahres, da zwei Hauptkreise einer Kugel sich allemal halbieren; am Äquator ist daher das ganze Jahr Tag und Nacht gleich.

Was wir bei der Sommer-Sonnenwende in A über die nördliche Erdhälfte gesagt haben, gilt ganz ebenso bei der Winter-Sonnenwende in C für die südliche, und das von der südlichen Hälfte in A Angeführte gilt in C von der nördlichen. Die nördliche kalte Zone ist dann unerleuchtet, während die südliche von der Sonne beschienen ist. Auf dem nördlichen Polarkreise pp erblickt man nur eben um Mittag die Sonne im Horizonte; auf dem südlichen Polarkreise bleibt sie über dem Horizont: man sieht sie mittags sich bis zu dem Zenithabstande w′p′ = 43^0, also der Höhe = 47^0 erheben, um Mitternacht aber sich bis zum Horizont herabsenken. Für den südlichen Wendekreis w′w′ steht die Sonne mittags im Zenith; für den Äquator aa bleibt sie um aw′ = $23\tfrac{1}{2}^0$, für den nördlichen Wendekreis ww um ww′ = 47^0 vom Zenith entfernt.

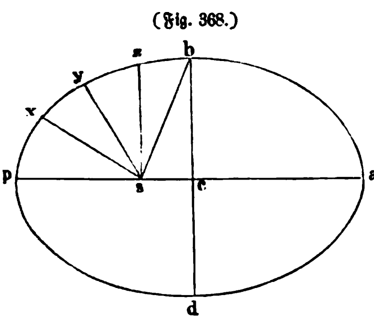
Zur Zeit der Nachtgleichen, wenn die Erde in B (Herbst) oder D (Frühling) steht, bildet die Erdachse ns mit dem Halbmesser eS der Erdbahn rechte Winkel; die Lichtgrenze geht durch die Pole n und s und halbiert sämtliche Parallelkreise; auf der ganzen Erde ist daher jetzt Tag und Nacht gleich. An den Polen n und s würde man die Sonne eben im Horizont erblicken und dort einen Kreis beschreiben sehen. — Da ferner die Gerade vom Mittelpunkte der Erde nach der Sonne durch den Äquator geht, so erblickt man am Äquator die Sonne mittags im Zenith. An allen anderen Orten bleibt sie um so viel Grad südlich oder nördlich vom Zenith, als dieselben nördlich oder südlich vom Äquator liegen, daher an den Wendekreisen um $23\tfrac{1}{2}^0$, an den Polarkreisen um $66\tfrac{1}{2}^0$; auf letzteren sieht man also um Mittag die Sonne in der Höhe von $23\tfrac{1}{2}^0$.

Indem die Erde sich von B nach C hin bewegt, entfernt sich die Sonne vom Äquator nach Süden hin und erreicht, wenn die Erde in C angekommen ist, ihren höchsten südlichen Abstand vom Äquator (aw′ = $23\tfrac{1}{2}^0$); geht die Erde dann weiter von C nach D, so kehrt auch die Sonne allmählich wieder zum Äquator zurück und entfernt sich dann, während sich die Erde von D nach A hin bewegt, an der Nordseite vom Äquator (bis auf $23\tfrac{1}{2}^0$ = aw).

Im vorstehenden ist keine Rücks[illegible] Strahlenbrechung genommen (s. § 198).

§. 279. Gestalt der Erdbahn. Der scheinbare Durchmesser der Sonne, d. h. der Gesichtswinkel, unter welchem uns die Sonne erscheint, beträgt etwas über $1/2^0$. Derselbe nimmt in der einen Hälfte des Jahres etwas zu, in der andern wieder ab. Diese Veränderungen zeigen, daß die Entfernung der Erde von der Sonne veränderlich ist. Bei der Kleinheit des scheinbaren Durchmessers dürfen wir annehmen, daß sich die Abstände der Erde von der Sonne umgekehrt wie die scheinbaren Durchmesser der Sonne verhalten. Es geben uns daher diese Werte, verbunden mit den Sonnenlängen (s. §. 273), ein Mittel, um zur Kenntnis der Gestalt der Erdbahn zu gelangen. Es ist nämlich die Größe, um die sich die Länge der Sonne von einer Beobachtung zur andern verändert, gleich dem Winkel, welchen in dieser Zeit der Halbmesser der Erdbahn beschreibt. Zeichnet man also einen Winkel xsy (Fig. 368) gleich der Längenänderung der Sonne von der 1. zur 2. Beobachtung, legt an diesen einen 2. Winkel ysz, gleich der Längenänderung der Sonne von der 2. zur 3. Beobachtung u. s. w., giebt man dann den Halbmessern sx, sy, sz u. s. w. Längen, welche sich umgekehrt verhalten wie die scheinbaren Durchmesser der Sonne bei den entsprechenden Beobachtungen, indem man etwa für den ersten sx eine willkürliche Länge nimmt, und verbindet man endlich die erhaltenen Punkte x, y, z u. s. w. durch eine zusammenhängende Linie, so muß diese die Gestalt der Erdbahn besitzen. Man erhält so eine Linie, welche für das Auge von einem Kreise nicht zu unterscheiden ist; nur bei sehr großem Maßstabe würden sorgfältige Abmessungen zeigen, was sich genauer durch höhere Rechnung*) ergiebt, daß die Erdbahn eine Ellipse ist, in deren einem Brennpunkte s die Sonne steht. Von den Endpunkten der großen Achse pa heißt der Punkt p, in welchem die Erde ihren kleinsten Abstand von der Sonne erreicht, die Sonnennähe oder das Perihelion, und der Punkt a, in welchem sie sich am weitesten von der Sonne entfernt, die Sonnenferne oder das Aphelion. In der Sonnennähe befindet sich die Erde am 1. Jan., in der Sonnenferne am 2. Juli.

(Fig. 368.)



Der größte Wert des scheinbaren Durchmessers der Sonne (am 1. Jan.) beträgt 32′36″ = 1956″, der kleinste (am 2. Juli) 31′32″ = 1892″. Hiernach muß sich verhalten

$$ps : as = 1892 : 1956.$$

Bezeichnen wir nun die halbe große Achse mit a, den Abstand des Brennpunktes s vom Mittelpunkte mit c, so ist die große Achse 2a gleich ps + as und die Entfernung der Brennpunkte von einander oder 2c gleich as — ps. Demnach ergiebt sich die verhältnismäßige Größe von 2a = 1956 + 1892 = 3848, die von 2c = 1956 — 1892 = 64. Es ist also die Excentricität der Erdbahn oder das Verhältnis

$$\frac{c}{a} = \frac{64}{3848} = 0{,}017 = \frac{1}{60}.$$

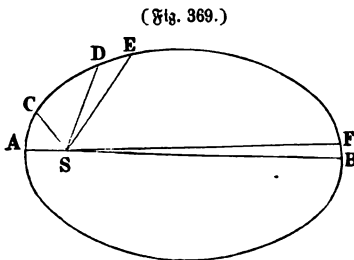
Setzen wir die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne, d. h. die halbe große Achse der Erdbahn = 1, so verhalten sich die kleinste, mittlere und größte Entfernung wie

$$0{,}983 : 1 : 1{,}017 = 59 : 60 : 61.$$

*) Siehe des Verfassers Kegelschnitte §. 95.

§. 280. Ungleichförmige Bewegung der Erde. Nach dem vorigen §. erklärt sich die Erscheinung, daß die Sonne in ihrer jährlichen Bahn am Himmel nicht gleichförmig fortschreitet, zunächst als Folge der wechselnden Entfernung der Erde von der Sonne; denn wenn wir mal annehmen, daß die Erde sich in ihrer Bahn gleichförmig bewegen würde, so müßten sich die scheinbaren Geschwindigkeiten der Sonne am Himmel ganz ebenso wie ihre scheinbaren Durchmesser umgekehrt verhalten, wie die Entfernungen, aus denen wir die Sonne sehen, also direkt wie die scheinbaren Durchmesser selbst. Abmessungen zeigen aber, daß dies nicht der Fall ist, obige Erklärung also nicht ausreicht, daß vielmehr die Erde selbst in ihrer Bahn mit wechselnder Geschwindigkeit fortschreitet. Bezeichnet man die Gerade, welche den Mittelpunkt der Sonne mit dem der Erde verbindet, als **Leitstrahl** (Radius vektor), so gilt zufolge sorgfältiger Beobachtungen das Gesetz:

Der Leitstrahl beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume. Sind z. B. in Fig. 369 die Ausschnitte ASC, DSE, FSB einander gleich, so werden die zugehörigen Bogen AC, DE, FB von der Erde in gleichen Zeiten durchlaufen.



(Fig. 369.)

Hieraus folgt, daß die Erde sich am raschesten in der Sonnennähe, am langsamsten in der Sonnenferne bewegt, gleich schnell aber an solchen Stellen, welche gleich weit von der Sonnenferne oder der Sonnennähe abliegen.

Eine Folge des vorstehend Angeführten ist die **ungleiche Länge der Jahreszeiten.** Da nämlich die Erde sich am 1. Jan. in der Sonnennähe, am 2. Juli in der Sonnenferne befindet, folglich im Sommer langsamer als im Winter fortschreitet, so muß auf der nördlichen Halbkugel das Sommerhalbjahr, d. h. die Zeit von der Frühlings- bis zur Herbstnachtgleiche (21. März bis 23. Sept.), das Winterhalbjahr, die Zeit von der Herbst- bis zur Frühlingsnachtgleiche (23. Sept. bis 21. März), an Länge übertreffen. Dieser Unterschied zwischen Sommer und Winter beläuft sich beinahe auf 8 Tage. Infolgedessen empfängt die nördliche Halbkugel eine größere Wärmemenge von der Sonne als die südliche.

Dieser Vorzug der nördlichen Halbkugel vor der südlichen wird dadurch etwas verringert, daß die Erde diejenige Hälfte ihrer Bahn, in welcher sie der Sonne näher ist und daher durch dieselbe stärker erwärmt wird, während unseres Winters durchläuft.

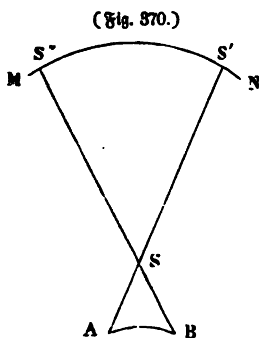
Über die Ermittlung des obigen Gesetzes führen wir noch folgendes an: Aus genauen Messungen geht hervor, daß die scheinbaren Geschwindigkeiten der Sonne am Himmel, d. h. die Winkelgeschwindigkeiten der Erde in ihrer Bahn um die Sonne, sich umgekehrt verhalten, wie die Quadrate der Entfernung der Erde von der Sonne. Es ist also, wenn wir für zwei beliebige Zeiten die Winkelgeschwindigkeiten mit w und w', die entsprechenden Entfernungen mit r und r' bezeichnen,

$$w : w' = r'^2 : r^2 \text{ oder } wr^2 = w'r'^2.$$

Fassen wir nun ein sehr kleines von dem Leitstrahl beschriebenes Flächenstück BSF (Fig. 369) ins Auge, so können wir dasselbe als ein Dreieck ansehen mit der Grundlinie $BF = rw$ (§. 38) und der Höhe $SB = r$. Der Inhalt des Dreiecks ist dann $= \frac{1}{2} r^2 w$. Zufolge der obigen Gleichung ist aber $\frac{1}{2} r^2 w = \frac{1}{2} r'^2 w'$. Demnach sind zwei sehr kleine in gleichen Zeiten beschriebene Flächen einander *gleich*, und eben dies wird dann auch noch [illegible] solchen zusammengesetzte Flächen Geltung haben.

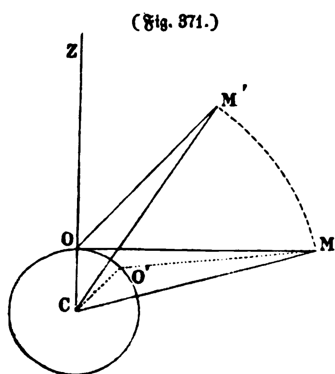
§. 281. Tägliche Parallaxe. Sind A und B (Fig. 370) zwei entfernte Punkte der Erde und ist S ein Gestirn, so werden wir dasselbe von A aus am Himmel MN in S', von B aus in S'' sehen. Die Richtung, in welcher wir das Gestirn S erblicken, wird also durch eine Änderung unseres Standortes ebenfalls eine Änderung erfahren. Dieselbe wird durch den Winkel ASB gemessen, welchen man als Parallaxe des Gestirns bezeichnet. Je weiter das Gestirn von der Erde entfernt ist, um so kleiner muß offenbar seine Parallaxe ausfallen. Für einen Fixstern ist sie nach §. 265 unmeßbar klein; für Gestirne unseres Sonnensystems (Sonne, Mond, Planeten) hat sie dagegen einen meßbaren Wert.

(Fig. 370.)



Es sei C (Fig. 371) der Mittelpunkt der Erde, O ein Punkt auf der Oberfläche derselben und M' ein Gestirn unseres Sonnensystems. Es wird dann der Winkel OM'C, um welchen die von einem Orte O nach dem Gestirn gezogene Linie OM' von der nach demselben vom Mittelpunkte der Erde gezogenen Linie CM' abweicht, die Parallaxe des Gestirns für diesen Ort genannt. Bei dem nämlichen Abstande des Gestirns von der Erde ist die Parallaxe abhängig von der Höhe des Gestirnes. Sie ist am größten, wenn sich das Gestirn (M) im Horizont befindet; es ist Wkl. OMC > OM'C*). Man unterscheidet hiernach Horizontal- und Höhenparallaxe. Da nach dem Vorstehenden die hier betrachtete Parallaxe eines Gestirnes im Laufe eines jeden Tages ihren Wert infolge der Achsendrehung der Erde ändert, so bezeichnet man sie auch als tägliche (vergl. §. 283).

(Fig. 371.)



Die Horizontalparallaxe OMC, gewöhnlich nur kurz Parallaxe genannt, kann man auch als den Winkel erklären, unter welchem von dem Gestirn M aus der Halbmesser OC der Erde gesehen wird. Sie liegt mit der Entfernung CM des Gestirnes von der Erde in dem rechtwinkeligen Dreieck OCM, in welchem OC als Halbmesser der Erde bekannt ist. Es läßt sich daher aus diesem Dreieck, wenn die Parallaxe gegeben ist, die Entfernung, wenn die letztere gegeben ist, die Parallaxe ermitteln. Weiter ist durch Dreieck COM auch Dreieck COM' bestimmt, falls der Zenithabstand ZOM' des Gestirnes bekannt ist, da CM' = CM und Wkl. COM' = $180^0 - $ ZOM' ist. Man vermag daher auch aus der Horizontalparallaxe OMC die Höhenparallaxe OM'C und umgekehrt aus dieser jene zu finden.

Da infolge der täglichen Parallaxe sich ein Gestirn unseres Sonnensystems, wenn es von verschiedenen Punkten der Erde aus beobachtet wird, nicht genau an der nämlichen Stelle des Fixsternhimmels zeigt, so leitet man, um die an verschiedenen Orten angestellten Beobachtungen genau

*) Denken wir uns Dreieck OCM' um C so weit gedreht, bis CM' mit CM zusammenfällt, so muß O wegen OCM' < OCM näher an CM rücken, z. B. auf O', folglich OM' auf O'M fallen. Wkl. OM'C ist daher = O'MC, also < OMC.

Sommer und Winter nur unmerklich ab und zu, ein Umstand, auf welchen sich der Name Solstitien (Sonnenstillstandspunkte) bezieht; am raschesten ändern sich die Tageslängen Anfang Frühling und Herbst.

Im obigen haben wir den Einfluß der atmosph. Strahlenbrechung nicht in Betracht gezogen. Durch dieselbe werden die Tageslängen etwas vergrößert, die Nachtlängen entsprechend verkürzt. (Näheres s. §. 198 und in des Verfassers Math. Geogr. 3. Aufl.)

Vor Aufgang und nach Untergang der Sonne wird das Dunkel der Nacht erheblich vermindert durch die Morgen- und Abenddämmerung (s. §. 194).

§. 273. **Länge und Breite am Himmel.** Wie (nach §. 264) der Äquator, so kann auch die Ekliptik zur Darstellung von Punkten am Himmel dienen. Man denkt sich zu dem Zweck durch die Pole der Ekliptik, d. h. durch die Punkte der Himmelskugel, welche von der Ekliptik um 90° abstehen, Kreise, sogenannte Breitenkreise, gelegt, und indem man den durch den Frühlingspunkt gehenden als ersten annimmt, zählt man die andern nach Osten weiter. Der Winkel, welchen der Breitenkreis eines Sternes mit dem ersten Breitenkreise bildet, oder der ihm gleiche Bogen auf der Ekliptik wird die Länge, der Bogen des Breitenkreises zwischen Stern und Ekliptik aber die Breite des Sternes genannt.

Wenn zwei Himmelskörper die nämliche Länge haben, also in demselben Breitenkreise stehn, so sagt man, sie stehn in Konjunktion; unterscheiden sich ihre Längen um 180°, so nennt man diese Stellung Opposition; endlich bezeichnet man mit Quadratur die Stellung, bei welcher der Unterschied der Längen 90° beträgt.

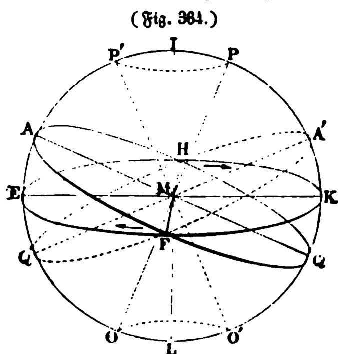
Durch trigonometrische Rechnung lassen sich aus Rektascension und Deklination Länge und Breite und umgekehrt aus Länge und Breite Rektascension und Deklination ableiten (s. Sphärische Trigonom.).

§. 274. **Rückgang der Nachtgleichen.** Im Laufe der Jahre ändert sich die Rektascension und Deklination der Fixsterne ein wenig und zwar scheinbar ganz unregelmäßig. Wird aber die Lage der Fixsterne auf die Ekliptik bezogen, so ergiebt sich, daß bei allen Fixsternen die Breite unverändert bleibt, daß dagegen die Länge mit jedem Jahre (ungefähr) 50″ zunimmt.

Hieraus geht hervor, daß die Ekliptik ihre Lage am Fixsternhimmel beibehält, daß aber der Frühlingspunkt und folglich auch der Herbstpunkt auf der Ekliptik nach Westen fortrückt.

In dieser rückgängigen Bewegung der Nachtgleichen liegt auch die Erklärung dafür, daß die Zeichen der Ekliptik jetzt nicht mehr mit den gleichnamigen Sternbildern zusammenfallen. Es sind nämlich seit der ursprünglichen Einteilung der Ekliptik so viele Jahre (über 2000) verflossen, daß der Frühlingspunkt um etwa 30° in der Ekliptik zurückgegangen ist.

(Fig. 364.)



Indem die Nachtgleichenpunkte, also die Punkte, in denen der Äquator die Ekliptik schneidet, ihre Lage verändern, muß auch der Äquator selbst eine Änderung seiner Lage erfahren. Es seien EK (Fig. 364) die Ekliptik, I und L deren Pole, ferner AQ der Äquator, P und O die Weltpole, F und H der Frühlings- und Herbstpunkt. Der Äquator AQ dreht sich dann so, daß die Nachtgleichenpunkte F und H nach Westen (im Sinne der Uhrzeigerbewegung) auf der festliegenden Ekliptik fortrücken. Dabei behält die Schiefe der Ekliptik, d. h. Wkl. AME,

die nämliche Größe ($23^{1}/_{2}{}^{0}$); es muß daher auch die Weltachse PO sich so um die Verbindungslinie der Ekliptikpole IL drehen, daß der Abstand des Weltpoles P vom Pole I der Ekliptik (und des Poles O von L) stets derselbe ($23^{1}/_{2}{}^{0}$) bleibt und folglich der Weltpol sich in einem Kreise um den festen Pol der Ekliptik bewegt. Ist etwa F über E nach H, also H über K nach F fortgeschritten und der Äquator folglich aus der Lage AQ in die Lage A'Q' übergegangen, so wird der Weltpol P sich in einem Halbkreise PP' um den festen Pol I der Ekliptik bewegt haben, und er wird einen ganzen Kreis beschrieben haben, wenn die Nachtgleichen einen Umlauf auf der Ekliptik vollendet haben, der Äquator wieder in die Lage AQ zurückgekehrt ist. Hierzu sind, da die Nachtgleichen jährlich 50", also in 72 Jahren ungefähr 1^{0} zurückgehen, nahezu 26 000 Jahre erforderlich.

Das Vorstehende zeigt, daß die Richtung der Erdachse, deren Verlängerung eben die Weltachse bildet, einer freilich nur äußerst geringen, aber stetigen Änterung unterworfen ist.

Infolge des Rückganges der Nachtgleichen wird sich der Weltpol in den nächsten Jahrhunderten dem Polarstern, von welchem er gegenwärtig $1^{1}/_{2}{}^{0}$ entfernt ist, bis auf $^{1}/_{2}{}^{0}$ nähern, sich dann aber wieder weiter von ihm entfernen.

Auch die Schiefe der Ekliptik oder die Neigung der Erdachse gegen die Ekliptik ist kleinen Schwankungen (von noch geringerer Größe) unterworfen, welche man die Nutation der Erdachse nennt. Desgleichen ist auch die Lage der Ekliptik etwas veränderlich.

Über die Ursache dieser Schwankungen siehe §. 295.

§. 275. **Das Jahr.** Unter einem Jahre versteht man die Zeit, in welcher die Sonne einen Umlauf am Himmel vollendet. Nun geht zufolge des vorig. §. der Frühlingspunkt in der Ekliptik allmählich gen Westen zurück, kommt also der Sonne, welche gen Osten fortschreitet, gleichsam entgegen. Letztere braucht daher, um zum Frühlingspunkte zurückzukehren, keine vollen 360^{0} zu durchlaufen. Hiernach unterscheidet man das siderische nnd das tropische Jahr. Das siderische Jahr, die wirkliche Umlaufszeit der Sonne, ist die Zeit, nach welcher die Sonne wieder bei dem nämlichen festen Punkte der Ekliptik (dem nämlichen Fixstern) ankommt. Das tropische Jahr ist die Zeit, nach welcher die Sonne wieder den nämlichen Abstand vom Frühlingspunkte erlangt. Nach dem Obigen muß das tropische Jahr um ein Geringes kürzer sein als das siderische. Der Frühlingspunkt rückt der Sonne jährlich etwa 50″ entgegen; die Sonne aber durchläuft die Ekliptik in (rund) 365 Tagen, mithin 50″ in 20 Min. Es ist daher das tropische Jahr ungefähr um 20 Min. kürzer als das siderische. Da der Verlauf der Jahreszeiten davon abhängt, wie weit sich die Sonne in der Ekliptik von dem Frühlingspunkte entfernt hat, so gilt als bürgerliches Jahr das tropische. Die Dauer dieses Jahres beträgt beinahe $365^{1}/_{4}$ Tag.

Da das Jahr (rund) $^{1}/_{4}$ Tag länger als 365 Tg. ist, so würde der Anfang des Frühlings, überhaupt der Jahreszeiten, wenn man jedes Kalenderjahr zu 365 Tg. rechnen wollte, nach je 4 Jahren um einen Tag im Jahre weiter vorrücken. Um eine derartige Verschiebung der Jahreszeiten zu vermeiden, schaltet man alle 4 Jahre und zwar Ende Februar einen Tag ein und jedesmal in dem Jahre, dessen Zahl durch 4 teilbar ist. Schaltjahre sind also z. B. 1892, 1896 u. s. w. Nun übertrifft das Jahr 365 Tg. nicht ganz um $^{1}/_{4}$ Tg. Auf die angegebene Weise schaltet man daher etwas zuviel ein, ein Überschuß, welcher in 400 Jahren ungefähr auf 3 Tg. anwächst. Deshalb läßt man in je 400 Jahren 3 Schalttage ausfallen, und zwar macht man in dem letzten Jahre eines Jahrhunderts nur dann

einen Schalttag, wenn die Zahl des Jahres durch 400 teilbar ist. Hiernach bekommen z. B. die Jahre 2000, 2400 . . . einen Schalttag; dagegen fällt er aus in 1900, 2100, 2200 u. s. w. — Auch dieses Schaltverfahren ist noch nicht vollkommen genau; doch wächst der Fehler erst nach ungefähr 4000 Jahren auf einen vollen Tag an.

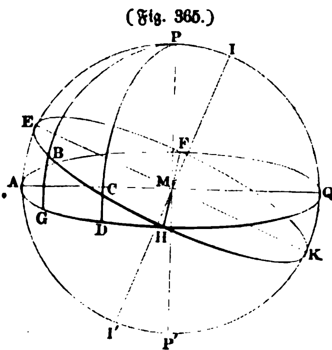
Die Zeitrechnung, bei welcher man alle 4 Jahre ohne Ausnahme einen Tag einschaltet, ist von Julius Cäsar (46 v. Chr.) angeordnet und wird daher die Julianische genannt. Nach Einführung derselben rückte dem Obigen entsprechend der Anfang des Frühlings auf ein immer früheres Datum. Im Jahre 325 auf dem Konzil zu Nicäa berichtigte man diesen Fehler durch Auslassen von 3 Tagen.*) Da man indes die Julianische Zeitrechnung beibehielt, so verschob sich der Anfang der Jahreszeiten aufs neue. 1582 war diese Abweichung auf 10 Tage angewachsen. Da ließ Papst Gregor XIII. zunächst 10 Tage ausfallen und verordnete zugleich, daß künftig in je 400 Jahren 3 Schalttage fortzulassen seien. Die Zeitrechnung heißt daher die Gregorianische. — Die Russen haben noch den Julianischen Kalender; sie sind daher gegen unsere Zeitrechnung gegenwärtig um 12 Tg. zurück.

Die genaue Dauer des tropischen Jahres beträgt 365,2422 Tg., die des siderischen 365,25635 Tg.

§. 276. **Die Zeitgleichung.** Da die Sonne in (rund) 365 Tg. einen Umlauf in der Ekliptik vollendet, so schreitet sie täglich unter den Fixsternen um ungefähr 1^0 nach Osten hin fort; um ebensoviel bleibt sie demnach bei der täglichen Drehung des Himmels hinter den Fixsternen zurück. Wenn daher die Stelle des Himmels, welche die Sonne vor 24 St. (Sternzeit) einnahm, wieder durch den Meridian hindurchgeht, so ist die Sonne von demselben noch um 1^0 gegen Osten hin entfernt. Sie tritt erst wieder in den Meridian, nachdem das Himmelsgewölbe sich noch um 1^0 gedreht hat, was in 4 Min. geschieht. Um soviel ist daher der wahre Sonnentag länger als der Sterntag (vergl. §. 263).

Dieser Überschuß hat jedoch nicht zu allen Zeiten des Jahres genau die nämliche Größe; die wahren Sonnentage sind von wechselnder Länge. Ein Grund hierfür liegt darin, daß die Sonne am Himmel in der einen Hälfte des Jahres schneller, in der anderen langsamer fortschreitet. Sie bewegt sich am schnellsten Anfang Januar, am langsamsten Anfang Juli. Demnach muß der wahre Sonnentag, folglich auch der Überschuß desselben über den Sterntag im Winter größer sein als im Sommer.

(Fig. 365.)



Eine noch größere Ungleichheit in der Länge der Sonnentage wird dadurch herbeigeführt, daß die Ekliptik gegen den Äquator geneigt ist. Es sei AQ (Fig. 365) der Äquator, EK die Ekliptik; ferner seien durch die Punkte B und C der Ekliptik die Deklinationskreise PG und PD gelegt. Der Überschuß der Sonnentage über den Sterntag ist nun nicht proportional dem von der Sonne während eines Tages durchlaufenden Bogen (BC) auf der Ekliptik (der Änderung ihrer Länge), sondern dem von ihrem Deklinations-

*) Auch wurde festgesetzt, daß das Osterfest an dem Sonntage, welcher auf den ersten Vollmond nach der Frühlingsnachtgleiche folgt, gefeiert werden sollte. Es kann hiernach Ostern nie früher als auf den 22. März und nie später als auf den 25. April fallen.

kreise beschriebenen Winkel, d. h. dem diesem gleichen Bogen (GD) auf dem Äquator, also der Änderung ihrer Rektascension. Da in 1 St. 15° durch den Meridian gehen, so giebt der Bogen, um welchen die Rektascension der Sonne von einem Mittage zum andern wächst, durch 15 dividiert, in Stunden die Zeit an, um welche der Sonnentag länger ist als der Sterntag. Nun ist aber Bg. GD < BC und in noch stärkerem Maße DH < CH, dagegen ist Bg. AG > EB. (Die Ekliptik ist nämlich bei E dem Äquator parallel, die Deklinationskreise aber gehen gegen diesen hin immer weiter auseinander.) Es ist also die Größe, um welche die Rektascension der Sonne von einem Mittage zum andern wächst, zur Zeit der Solstitien, wenn die Sonne bei E oder K steht, größer, zur Zeit der Nachtgleichen, wenn sie sich bei H oder F befindet, kleiner als die entsprechende Zunahme in der Länge der Sonne. Zu Anfang des Sommers und Winters übertrifft daher die Dauer des wahren Sonnentages die des Sterntages um mehr als zur Zeit der Nachtgleichen. Der Unterschied zwischen dem längsten und kürzesten Sonnentage beträgt beinahe 1 Min.

Für die gewöhnliche Zeitmessung nimmt man als unveränderliche Einheit den mittleren Sonnentag, d. h. das arithmetrische Mittel aller wahren Sonnentage des Jahres (vergl. §. 263). Der Unterschied zwischen dem Mittage des mittleren und wahren Sonnentages wird die Zeitgleichung genannt. Es ist dies die Zeit, welche man zur wahren Zeit hinzufügen oder davon abziehen muß, um die mittlere Zeit zu erhalten. Sie kann sich auf etwas mehr als $^1/_4$ St. belaufen. Um soviel können also die Angaben einer gewöhnlichen Uhr bei richtigem Gange von denen einer Sonnenuhr abweichen.

Ein Sterntag ist die Zeit der Achsendrehung der Erde. Während eines Sonnentages dreht sich dagegen die Erde nicht nur einmal vollständig herum, sondern auch noch um soviel Grad, als die Rektascension der Sonne innerhalb des Tages gewachsen ist. Da nun die Sonne in (rund) $365^1/_4$ Sonnentagen einen Umlauf von 360° vollendet, so muß die Erde in dieser Zeit sich $365^1/_4$ mal und noch um 360° gedreht, im ganzen also $366^1/_4$ Umdrehungen ausgeführt heben. Es sind demnach $365^1/_4$ mittl. Sonnentage = $366^1/_4$ Sterntage; daraus ergiebt sich

1 mittl. Sonnentag = $24^h\ 3^m\ 56{,}6^s$ (Sternzeit); 1 Sterntag = $23^h\ 56^m\ 4{,}1^s$ (mittl. Zeit).

Zur Bestimmung der mittleren Zeit denken sich die Astronomen eine Sonne, welche mit unveränderter Geschwindigkeit binnen Jahresfrist den Äquator durcheilt. Die Zeit der oberen Kulmination dieser gedachten mittleren Sonne ist der mittlere Mittag. Weiter nehmen die Astronomen an, daß zu einer bestimmten Zeit (am 25. Dez., wo die Rektascension der wirklichen Sonne am stärksten zunimmt) die mittlere Sonne sich mit der wahren in dem nämlichen Deklinationskreise befinde. An diesem Tage gehen dann beide Sonnen gleichzeitig durch den Meridian; der wahre und der mittlere Mittag fallen zusammen. Indem aber die wahre Sonne in der Ekliptik, die mittlere auf dem Äquator weiter wandert, wird die erstere der letzteren bald etwas voraus eilen, bald hinter derselben zurückbleiben. Die Zeit nun zwischen der Kulmination der wahren und der der mittleren Sonne ist die Zeitgleichung. Ist im Augenblick des wahren Mittags die mittlere Sonne schon durch den Meridian gegangen, so ist die Zeitgleichung zur wahren Zeit hinzuzufügen, um die mittlere Zeit zu erhalten; befindet sich aber die mittlere Sonne noch ostwärts vom Meridian, so ist die Zeitgleichung von der wahren Zeit abzuziehen.

Die folgende Übersicht zeigt, wann die Zeitgleichung den Wert 0, sowie ihre größten positiven und negativen Werte erlangt, so wie auch diese Werte selbst.

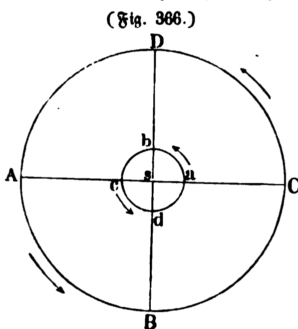
25. Dez. .	0.	15. April. .	0.	15. Juni . .	0.	1. Sept. . .	0.
12. Febr. .	+ 14,5m.	14. Mai . .	— 3,9m.	26. Juli . .	+ 6,2m.	3. Nov. . .	— 16,3m.

Da der wahre Mittag die Zeit zwischen Auf- und Untergang der Sonne gerade halbiert, so muß die Länge von Vor- und Nachmittag nach mittlerer Zeit an solchen Tagen, an denen der mittlere

Mittag nicht mit dem wahren zusammenfällt, ungleich werden, und zwar muß der Unterschied, wie leicht zu erkennen, das Doppelte der Zeitgleichung betragen. — Auf der Zeitgleichung beruht es ferner, daß Ende Dezember und Anfang Januar, wo die Tage in Wirklichkeit länger werden, eine Zunahme des Lichtes zunächst nur abends, am Morgen dagegen anfangs sogar noch eine Abnahme sich zeigt. (Näheres siehe in des Verfassers Math. Geogr., 3. Aufl.)

§. 277. **Bewegung der Erde um die Sonne.** Die in den vorhergehenden §§. angeführten Erscheinungen erklären sich zunächst nach dem unmittelbaren Augenschein durch die Annahme, daß die Sonne während eines Jahres einen Umlauf um die Erde macht. Andererseits lassen sie aber auch die Erklärung zu, daß sich die Erde um die Sonne bewegt und infolge dieser Bewegung die Sonne einen Kreis am Himmel zu durchlaufen scheint. Es sei etwa s (Fig. 366) die Sonne, abcd die Bahn der Erde und ABCD der Kreis, in welchem das Himmelsgewölbe von der erweiterten Ebene der Erdbahn durchschnitten wird. Wir erblicken dann, wenn die Erde in a steht, die Sonne in A, und wenn die Erde sich in b, c, d befindet, die Sonne in B, C, D, so daß uns also die Sonne, während wir selbst um dieselbe einen Umlauf in der Folge abcd machen, sich am Himmel in der Folge ABCD zu bewegen scheint.

(Fig. 366.)



Gewichtige Gründe (s. §. 292) haben dahin geführt, daß die letztere Ansicht, der zufolge sich die Erde um die Sonne bewegt, die richtige ist. Wir haben demnach die Ekliptik ABCD als denjenigen Hauptkreis anzusehen, in welchem die erweiterte Ebene der Erdbahn abcd das Himmelsgewölbe durchschneidet.

Indem nun die Erde einen Umlauf in ihrer Bahn vollendet, erleiden die Weltpole und der Äquator am Himmel keine Veränderung.*) Hieraus folgt, daß die Erdachse beim Umlaufe der Erde um die Sonne stets auf den nämlichen Punkt des Fixsternhimmels gerichtet bleibt. Da ferner die Ebene des Äquators mit der Ebene der Ekliptik unverändert einen Winkel von $23^1/_2{}^0$ bildet und die Erdachse auf der Äquatorebene senkrecht steht, so ergiebt sich weiter, daß die Erdachse gegen die Ebene der Erdbahn beständig unter einem Winkel von $66^1/_2{}^0$ geneigt ist. Diese Erscheinungen führen zu folgenden Sätzen:

1) Bei der Bewegung der Erde um die Sonne behält die Erdachse in allen Punkten ihrer Bahn die nämliche Richtung bei, schreitet also in paralleler Lage fort (s. auch §. 20).

2) Gegen die Entfernung bis zum nächsten Fixstern ist die ganze Erdbahn als ein verschwindend kleines Ringelchen anzusehen (vergl. §. 265).

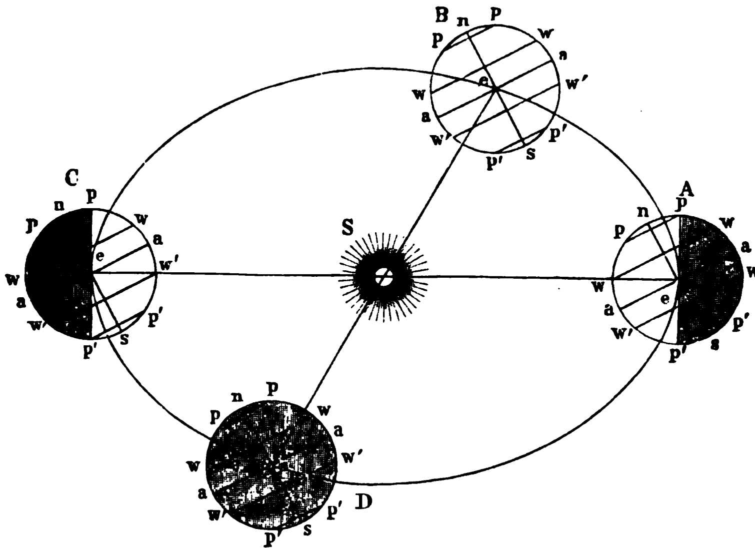
Gründe, welche für die Bewegung der Erde um die Sonne sprechen, sind: 1) die größere Wahrscheinlichkeit, daß der viel mal kleinere Körper mit der kleineren Masse sich um den größeren bewegt (s. §. 285); 2) die Ähnlichkeit der Erde mit den Planeten, bei denen unmittelbar aus den Beobachtungen hervorgeht, daß sie sich um die Sonne bewegen (s. §. 292); 3) das Gravitationsgesetz (§. 293); 4) die Parallaxe der Fixsterne (§. 283) und 5) die Aberration des Lichtes (§. 284).

---

*) Abgesehen von dem hier nicht zu berück [illegible] ange der Nachtgleichen (§. 274).

§. 278. Erklärung der Jahreszeiten aus der Bewegung der Erde um die Sonne. Zur Erklärung des Wechsels der Jahreszeiten ist zu beachten, daß die Erdachse gegen die Erdbahn unter einem Winkel von $66^1/_2{}^0$ geneigt ist, und daß sie ferner beim Umlauf der Erde um die Sonne in paralleler Lage fortschreitet. Man erkennt dann, daß in der einen Hälfte des Jahres die nördliche, in der andern die südliche Hälfte der Erdachse gegen die Sonne hin geneigt ist, und daß infolge hiervon in der einen Hälfte des Jahres die nördliche, in der andern die südliche Erdhälfte von der Sonne stärker erleuchtet und erwärmt wird. In Fig. 367 soll

(Fig. 367.)



S die Sonne und A, B, C, D die Erde in 4 Hauptpunkten ihrer (perspektivisch gezeichneten) Bahn vorstellen. In A bildet die nördliche Hälfte en der Erdachse ns, in C die südliche Hälfte es mit dem Halbmesser der Erdbahn eS den kleinsten Winkel von $66^1/_2{}^0$; in B und D aber bildet die Erdachse ns mit dem Halbmesser der Erdbahn eS rechte Winkel. In A befindet sich die Erde zur Zeit der Sommer-, in C zur Zeit der Winter-Sonnenwende, in B und D aber zur Zeit der Herbst- und Frühlingsnachtgleichen.

Zur Zeit der Sommer-Sonnenwende in A bleibt die Sonne am nördlichen Pol n den ganzen Tag sichtbar. Ihr Zenithabstand wird durch Wkl. neS oder Bg. nw gemessen, ist also $= 66^1/_2{}^0$, ihre Höhe mithin $= 23^1/_2{}^0$. Am Pole würde man daher, indem die Erde sich um ihre Achse dreht, die Sonne in der Höhe von $23^1/_2{}^0$ einen dem Horizonte parallelen Kreis beschreiben sehen. Am nördlichen Polarkreise pp sieht man um Mittag (in dem links von n liegenden p) die Sonne in dem Zenithabstande wp $= 66^1/_2{}^0 - 23^1/_2{}^0 = 43^0$, also in der Höhe von 47^0; um Mitternacht aber (in dem rechts von n gelegenen p) erblickt man die Sonne eben im Horizont, indem die nach der (unendlich fernen) Sonne gezogene Linie mit eS parallel läuft; die Sonne geht also zur Zeit der Sommer-Sonnenwende für die ganze nördliche

von der Erde erreicht, die **Erdnähe** oder das **Perigäum**, der andere, in welchem sich der Mond am weitesten von der Erde entfernt, die **Erdferne** oder das **Apogäum**.

Aus genauen Messungen folgt ferner auch noch in der nämlichen Weise das 2. für die Bewegung der Erde aufgefundene Gesetz (§. 280), daß auch beim Monde **der Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt**. Es schreitet also der Mond in der Erdnähe rascher fort als in der Erdferne. Seine Geschwindigkeit nimmt von der Erdnähe bis zur Erdferne immerfort ab, wächst dagegen von dieser zu jener in entsprechendem Maße wieder an.

Der größte Wert des scheinbaren Monddurchmessers beträgt (im Mittel) 32′ 47″ = 1967″, der kleinste 29′ 21″ = 1761″. Es verhalten sich also (s. §. 279) die kleinste und größte Entfernung wie 1761 : 1967, und es ist die verhältnismäßige Länge der großen Achse 2a = 1967 + 1761 = 3728, der verhältnismäßige Abstand der beiden Brennpunkte 2c = 1967 — 1761 = 206, also die **Excentricität der Mondbahn** $\frac{c}{a} = \frac{206}{3728} = 0{,}055 = \frac{1}{18}$.

Die kleinste, mittlere und größte Entfernung des Mondes von der Erde verhalten sich also (im Mittel) wie 0,945 : 1 : 1,055 oder wie 17 : 18 : 19.

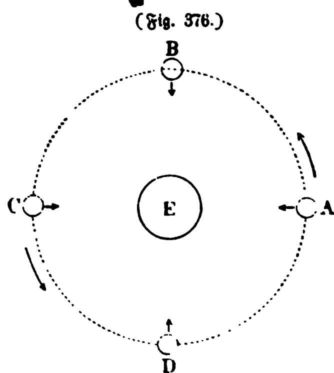
Die mittlere **Geschwindigkeit** des Mondes können wir annähernd bestimmen, indem wir die Mondbahn als kreisförmig ansehen. Es ist dann die Länge der Mondbahn = 2 . 384 000 . 3,14 km (s. §. 282). Diese Strecke durchläuft der Mond in $27^1/_3$ Tg. Daraus ergiebt sich der Weg in 1 Sek. = (etwas über) 1 km.

Außer der Bewegung der Knoten und den Schwankungen in der Neigung gegen die Ekliptik (s. §. 286) zeigt die Mondbahn fortwährend auch noch andere kleine Veränderungen. So schwankt die Excentricität oder die Länge der großen Achse von einem Umlaufe zum anderen. Ferner dreht sich die große Achse fortgesetzt ein wenig nach Osten. Hinsichtlich der Gründe dieser Schwankungen s. §. 295.

Als Begleiter der Erde bewegt sich der Mond mit dieser jährlich um die Sonne und beschreibt dabei eine Bahn von eigentümlicher Gestalt, welche durch das Zusammenwirken beider Bewegungen, der Erde um die Sonne und des Mondes um die Erde, bedingt wird. (Siehe hierüber des Verfassers Math. Geogr., 3. Aufl. 1889.)

§. 289. Der Mond. Der mittlere Abstand des Mondes von der Erde ist (nach §. 228) = 384 000 km (51 800 Ml.), sein scheinbarer Durchmesser in dieser Entfernung aber ungefähr = 31′, sein scheinbarer Halbmesser also = $15^1/_2$′. Hieraus findet man den wahren **Halbmesser der Mondkugel** (rund*) = **1700 km** (230 Ml.) = **0,27 Erdhalbmesser** (§. 269). Es ist also beim Monde der Durchmesser beinahe 4 (genauer $3^2/_3$) mal, das Volumen $(3^2/_3)^3$ = 50 mal kleiner als bei der Erde.

(Fig. 376.)



Schon mit bloßem Auge unterscheidet man auf dem Monde hellere und dunklere Stellen. Dieselben erscheinen stets in der nämlichen Lage auf der Mondscheibe; es kehrt uns der Mond also beständig dieselbe Seite zu. In Figur 376 sei E die Erde, A, B, C, D die Mondbahn. Es ist dann die Mitte der uns zugekehrten Hälfte des Mondes in A nach links, in B nach unten, in C nach rechts, in D nach oben, und wenn

*) Siehe die Bemerkung unter dem Text auf Seite 478. Danach ist der Halbmesser des Mondes = $\frac{15^1/_2 \cdot 60}{206\,000} \cdot 384\,000 = 1700$ km.

der Mond nach A zurückkehrt, wieder nach links gewendet. Der Mond hat sich folglich während eines Umlaufs einmal um eine durch seinen Mittelpunkt gehende Achse gedreht. Die Zeit dieser Achsendrehung ist gleich der Umlaufszeit des Mondes um die Erde, also = $27\frac{1}{3}$ Tg.

Indem der Mond die Erde umkreist, behält seine Drehungsachse die nämliche parallele Richtung bei (vergl. §. 20 und 277). Sie bildet mit der Ekliptik einen Winkel von $88\frac{1}{2}^0$. — Eine Abplattung an den Polen ist beim Monde nicht wahrzunehmen.

Der von der Sonne nicht beschienene Teil der Mondscheibe zeigt, besonders vor und nach dem Neumonde, ein schwaches aschfarbenes Licht. Dasselbe erklärt sich dadurch, daß die von der Sonne beschienene Erdhälfte je nach der gegenseitigen Stellung beider Körper zu einem mehr oder weniger großen Teile, bei Neumond ganz gegen den Mond gewendet ist und denselben in ähnlicher Weise beleuchtet, wie dieser unsere Nächte erhellt (s. auch Fig. 375, S. 483.)

Durch ein Fernrohr bemerkt man auf der Mondscheibe umfangreiche schwächer leuchtende Flächen und kleinere besonders hell glänzende Stellen. Die ersteren sind Ebenen und Thäler, die letzteren Gebirge, was daraus hervorgeht, daß die helleren Stellen, die Gebirge, an der von der Sonne abgewendeten Seite deutliche Schatten zeigen. Sehr verbreitet sind auf dem Monde ringförmige Gebirge, welche ein kesselförmiges Thal einschließen, in dessen Mitte sich meist ein einzelner Bergkegel erhebt. Die Ringgebirge bilden wahrscheinlich gewaltige Krater verloschener Vulkane.

Da die Schatten der Berge auf dem Monde eine scharf abgesetzte Begrenzung zeigen, so können wir schließen, daß der Mond von keiner oder nur von einer sehr feinen Atmosphäre umgeben ist. Es geht dies ferner daraus hervor, daß bei Bedeckung von Fixsternen durch den Mond das Licht derselben plötzlich erlischt.

Da die Achse des Mondes ein wenig gegen die Ebene der Mondbahn geneigt ist, so wird uns auch bei jedem Umlaufe abwechselnd ein kleiner Teil jenseits des Nord- und jenseits des Südpoles sichtbar (vergl. §. 278, Fig. 367, S. 473). Da ferner die Achsendrehung des Mondes gleichförmig, sein Fortschreiten in der elliptischen Bahn aber abwechselnd schneller und langsamer erfolgt, so sehen wir bald etwas mehr an der West-, bald an der Ostseite des Mondes. Man nennt diese Schwankungen der sichtbaren Mondoberfläche die Libration des Mondes.

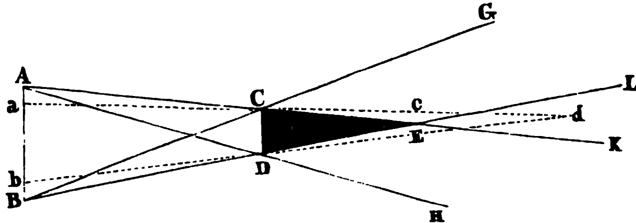
§. 290. Sonnen- und Mondfinsternisse. Eine Sonnenfinsternis ereignet sich, wenn der Mond zwischen Erde und Sonne tritt und uns dieselbe ganz oder zum Teile verdeckt, eine Mondfinsternis, wenn der Mond in den Schatten der Erde kommt. Sonnenfinsternisse können daher nur zur Zeit des Neumondes, Mondfinsternisse nur zur Zeit des Vollmondes stattfinden. Da die Ebene der Mondbahn mit der Ebene der Erdbahn einen Winkel von (rund) 5^0 bildet, so geht meistens der Neumond ober- oder unterhalb der Sonnenscheibe, der Vollmond über oder unter dem Schatten der Erde her. Eine Sonnenfinsternis tritt nur dann ein, wenn der Neumond, eine Mordfinsternis nur dann, wenn der Vollmond in die Nähe eines Knotens der Mondbahn (s. §. 286) fällt.

a. Sonnenfinsternis. Dieselbe kann eine vollständige (totale) oder eine teilweise (partiale) sein. Die erstere kann sich offenbar nur dann ereignen, wenn der scheinbare Durchmesser des Mondes mindestens eben so groß als der der Sonne ist. Der scheinbare Durchmesser schwankt aber bei der Sonne zwischen $31\frac{1}{2}'$ und $32\frac{1}{2}'$, beim Monde zwischen $29\frac{1}{2}'$ und $33\frac{1}{2}'$. Hieraus geht hervor, daß je nach den Entfernungen der Erde von Sonne und Mond der scheinbare Durchmesser des Mondes größer und auch kleiner als der der Sonne sein kann. Ist er kleiner und tritt dann der Mittelpunkt des Mondes gerade

vor den der Sonne, so gestaltet sich die Finsternis **ringförmig**, indem nur der äußere Rand der Sonne sichtbar bleibt. Die Breite dieses Ringes kann nach den obigen Zahlen höchstens etwa $1^1/_2{}'$ betragen.

Sind AB und CD (Fig. 377) zwei parallele Durchmesser der Sonne und des Mondes, so ist CDE ein Durchschnitt des Kernschattens. Einem innerhalb dieses

(Fig. 377.)



Raumes befindlichen Auge bietet sich daher die Erscheinung einer vollständigen Sonnenfinsternis dar. GCE und HDE sind Durchschnitte des Halbschattens, in dem noch ein Teil der Sonne sichtbar ist. So kann z. B. ein Auge in c den Teil Aa der Sonne noch sehen; es hat den Anblick einer teilweisen, sichelförmigen Finsternis. Einem Auge im Raume LEK bietet sich die Erscheinung einer ringförmigen Finsternis dar, indem z. B. einem Auge in d von AB noch die Enden Aa und Bb sichtbar bleiben.

Falls die Achse des Schattenkegels die Erde schneidet, so entsteht für die betreffende Gegend eine vollständige oder ringförmige Finsternis, je nach dem Verhältnisse, in welchem dann die Entfernungen der Sonne und des Mondes von der Erde stehn, ob der Mond sich in der Erdnähe oder Erdferne, die Erde sich in der Sonnennähe oder Sonnenferne befindet.

Da der Mond am Himmel täglich nach Osten um etwa 12° schneller fortschreitet als die Sonne (s. §. 286), so beginnt eine Sonnenfinsternis an der Westseite der Sonne. Indem sodann der Mond vor der Sonne vorübergeht, bewegt sich der Schatten desselben in der nämlichen Richtung. Es beschreibt daher bei einer vollständigen Finsternis der Kernschatten auf der Erde eine Art Zone und eben so der den Kernschatten umhüllende Halbschatten zwei Zonen, welche jene ganz umfassen. Die Bewohner der mittleren Zone sehen für einige Zeit die Sonne ganz, die der äußeren nur teilweise verfinstert und zwar um so weniger, je weiter ab sie von der mittleren Zone wohnen. Demnach gestaltet sich eine Sonnenfinsternis sowohl nach dem Verlauf der Erscheinung als auch nach der Zeit des Eintritts für verschiedene Gegenden der Erde verschieden.

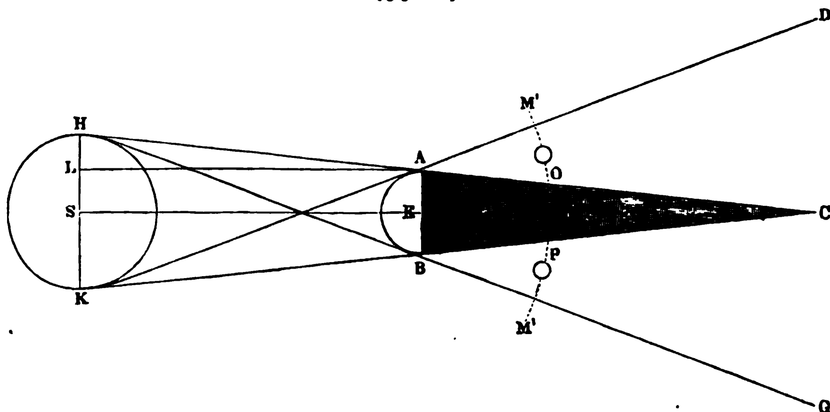
b. **Mondfinsternis.** Eine solche entsteht, wenn der Mond in den **Kernschatten** der Erde gelangt. In Fig. 378 stelle S die Sonne, E die Erde vor. Die äußeren Tangenten AC und BC begrenzen den Kernschatten, die inneren AD und BG den Halbschatten. Je nachdem nun der Mond M sich ganz oder nur zum Teil in den Kernschatten der Erde einsenkt, können die Mondfinsternisse ebenfalls vollständige oder teilweise sein, dagegen sich niemals ringförmig gestalten, weil im Abstande des Mondes von der Erde der Durchmesser des Kernschattens der Erde den des Mondes erheblich übertrifft.

Letzteres zeigt folgende Rechnung: Es verhält sich CE : CS = EA : SH.*) Setzen wir nun EA (Halbmesser der Erde) = 1, so ist nach §. 285 SH (Halbmesser der Sonne) = 108. Wir können demnach EA : SH = 1 : 100 annehmen, und es ist dann also auch CE : CS = 1 : 100. Da hiernach CE nur = $^1/_{100}$ CS ist, so ist auch sehr nahe CE = $^1/_{100}$ ES. ES ist aber (nach §. 282) = 23400,

*) Siehe Planimetrie §. 182.

woraus sich CE = 234 ergiebt. Nun beträgt die Entfernung des Mondes von der Erde (nach §. 282) etwa 60. Es ist also angenähert ME = $^1/_4$ CE oder CM = $^3/_4$ CE, mithin auch OP, d. h. der Durch-

(Fig. 878.)



messer des Erdschattens an der Stelle, wo er von der Mondbahn durchschnitten wird, = $^3/_4$ AB = 0,75 Erddurchmesser. Der Durchmesser des Mondes beträgt aber (nach dem vorig. §.) 0,27 Erddurchmesser; demnach ist OP fast 3 mal so groß als der Durchmesser des Mondes.

Indem die Erde nach Osten die Sonne umkreist, bewegt sich auch ihr Schatten in dieser Richtung und zwar täglich um ungefähr 1°. Es tritt daher der Mond, welcher in der nämlichen Richtung täglich etwa 12° mehr zurücklegt, von der Westseite her in den Schatten der Erde ein. Eine Mondfinsternis nimmt hiernach am Ostrande des Mondes ihren Anfang. — Die Erscheinung einer Mondfinsternis ist ferner unabhängig von dem Standpunkte des Beobachters; alle Bewohner, über deren Horizont sich der Mond befindet, sehen die Erscheinung in gleicher Weise und zu derselben Zeit.

Ausführlicheres über Sonnen- und Mondfinsternisse siehe in des Verfassers Math. Geogr. 3. Aufl. 1889.

D. Das Sonnensystem.

§. 291. **Bewegung der Planeten am Himmel.** Mit unbewaffnetem Auge lassen sich die Planeten (§. 261): Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn wahrnehmen. An ihnen werden wir die Erscheinungen, welche der Lauf der Planeten am Himmel darbietet, näher betrachten. Diese Erscheinungen sind keineswegs so einfach und regelmäßig wie bei der Sonne und dem Monde. Indem die Planeten stets in der Nähe der Ekliptik bleiben, wandern sie zwar ebenfalls im allgemeinen nach Osten, sind also meistens rechtläufig; von Zeit zu Zeit aber nehmen sie eine entgegengesetzte Bewegung nach Westen hin an, werden rückläufig; beim Übergange aus der einen Bewegung in die andere stehen sie für kurze Zeit ganz still.

Die angedeuteten Schwankungen in der Bewegung eines Planeten lassen eine gesetzmäßige Beziehung zu der jedesmaligen Stellung des Planeten zur Sonne erkennen. Dabei zeigen Merkur und Venus gegenüber allen übrigen ein abweichendes Verhalten. Man nennt die beiden ersteren untere, die anderen obere Planeten (vergl. den folg. §.). Die unteren Planeten leuchten am Himmel nur in den Morgen- und Abendstunden, indem ihr scheinbarer Abstand von der Sonne nicht

über eine gewisse Grenze hinaus wächst. Deswegen bezeichnet man auch die Venus als den hellsten aller Sterne mit dem Namen **Morgen-** oder **Abendstern**. Als Abendstern strahlt sie östlich von der Sonne am Westhimmel, als Morgenstern westlich von der Sonne am Osthimmel. Die größte östliche oder westliche **Ausweichung** von der Sonne kann für Venus etwa 48°, für Merkur nur 28° betragen.*) Innerhalb dieser Grenzen schwankt der scheinbare Abstand der beiden Planeten von der Sonne hin und her, indem sie in regelmäßigem Wechsel von Westen nach Osten und dann wieder von Osten nach Westen an der Sonne vorüberschreiten. Hiernach unterscheidet man für die unteren Planeten eine **obere Konjunktion**, bei welcher der Planet von der West- auf die Ostseite der Sonne übertritt, also letzterer vorauseilt, und eine **untere**, bei welcher er von Osten nach Westen an der Sonne vorbeigeht, also hinter dieser zurückbleibt. Abmessungen zeigen ferner, daß die unteren Planeten jedesmal in der Nähe ihrer unteren Konjunktion für einige Zeit rückläufig sind.

Die oberen Planeten treten mit der Sonne abwechselnd in Konjunktion und Opposition. Nach der Konjunktion bleiben sie hinter der Sonne gen Westen immer mehr zurück; in der Nähe ihrer Opposition sind sie jedesmal für kurze Zeit rückläufig.

Die angeführten Erscheinungen wiederholen sich für denselben Planeten derartig, daß jedesmal die nämliche Zeit vergeht, bis er wieder die gleiche Stellung zur Sonne einnimmt. Diese Zeit nennt man die **synodische Umlaufszeit**.

Indem ferner die Planeten ihren Abstand von der Ekliptik fortwährend ändern, sich bald nördlich, bald südlich von derselben bewegen, nehmen ihre Bahnen zur Zeit der rückgängigen Bewegung eine geschlängelte oder **schleifenförmige** Gestalt an.

Die Punkte, in denen eine Planetenbahn die Ekliptik durchschneidet, werden wie bei der Mondbahn **Knoten** genannt. Man unterscheidet auch hier den aufsteigenden Knoten und den absteigenden (vergl. §. 286). Die Durchgänge eines und desselben Planeten durch die Ekliptik erfolgen an sehr verschiedenen Stellen der Ekliptik. Andererseits verfließt aber stets die gleiche Zeit, bis der Planet wieder durch den nämlichen (ab- oder aufsteigenden) Knoten hindurchgeht. Diese Zeit heißt seine **siderische Umlaufszeit**.

In Fig. 379 stellt die gerade Linie SS die Ekliptik, die krumme Linie MM aber die Bahn dar, welche Merkur 1886 von Anfang Juli bis Ende Sept. zurückgelegt hat. Von 10 zu 10 Tagen

(Fig. 379.)

M 19. Sept. 9. Sept. 11. Jul. 1. Jul. M
s
S 9. Sept. 30. Aug. 20. Aug. 10. Aug. 31. Jul. 21. Jul. S
31. Jul. 21. Jul. 30. Aug.
20. Aug.
10. Aug. m

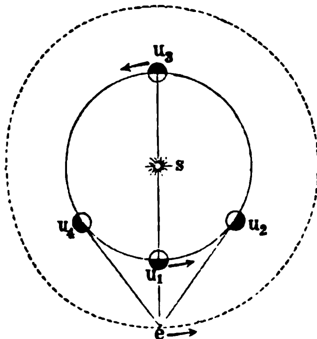
sind die gleichzeitigen Stellungen des Planeten und der Sonne verzeichnet. Man sieht, daß die Bahn des Planeten sich Ende Juli zu einer Schleife umbiegt, und daß innerhalb dieser Schleife Mitte August die untere Konjunktion des Planeten (m) mit der Sonne (s) stattfindet.

---

*) Letzterer ist daher nur sehr selten (bei seiner größten Ausweichung und auch dann nur für *ein scharfes* Auge) sichtbar.

§. 292. Bewegung der Planeten um die Sonne. Im Fernrohr erscheinen die Planeten als kleine Lichtscheiben, deren scheinbarer Durchmesser zwischen einem größten und kleinsten Werte hin und her schwankt. Ferner zeigen die beiden unteren Planeten Merkur und Venus einen ähnlichen Wechsel der Lichtgestalt wie der Mond. Diese Erscheinungen führen unmittelbar zu der Vorstellung, daß Merkur und Venus dunkle, kugelförmige Weltkörper sind, welche die Sonne entgegen der Bewegung eines Uhrzeigers umkreisen und von dieser beleuchtet werden. Nehmen wir zunächst an, daß die Ebene der Planetenbahn mit der Ebene der Erdbahn zusammenfällt. Es sei s (Fig. 380) die Sonne, e die Erde. Steht nun der Planet in u_1 gerade zwischen Erde und Sonne, in unterer Konjunktion, so ist sein scheinbarer Durchmesser am größten; tritt er dagegen in u_3 genau hinter die Sonne, in obere Konjunktion, so ist sein scheinbarer Durchmesser am kleinsten. — In u_1 wendet der Planet ferner der Erde die unbeleuchtete, in u_3 aber die ganze beleuchtete Hälfte zu. Ziehen wir dann noch von e an die Planetenbahn die Tangenten eu_2 und eu_4. In u_2 erreicht der Planet seine größte westliche Ausweichung = Wkl. u_2es. Dabei sehen wir nur die östliche (der Sonne zugekehrte) Hälfte der Planetenscheibe leuchten und zwar am Morgenhimmel als erstes Viertel. In u_4 glänzt dagegen die westliche Hälfte der Scheibe am Abendhimmel als letztes Viertel.*)

(Fig. 380.)



Der Lauf eines Planeten am Himmel erklärt sich nun als ein Ergebnis des Zusammenwirkens der wahren Bewegung des Planeten und der wahren Bewegung der Erde. Befindet sich z. B. der Planet in seiner oberen Konjunktion in u_3, so erscheint er von der Erde aus am Himmel in der Richtung eu_3. Der Planet und die Erde bewegen sich bei dieser Stellung in entgegengesetzter Richtung (der Planet nach links, die Erde nach rechts). Stände die Erde still, so würde der Planet wegen seiner eigenen Bewegung am Himmel gen Osten fortzuschreiten scheinen; wäre der Planet in Ruhe, so würde auch die Bewegung der Erde allein für den scheinbaren Ort des Planeten eine Verschiebung nach Osten bewirken. Es wird also die Geschwindigkeit, mit welcher uns der Planet infolge seiner wirklichen Bewegung am Himmel fortzurücken scheint, durch unsere eigene Bewegung noch vergrößert.

Steht der Planet in unterer Konjunktion u_1, so bewegt er sich in derselben Richtung wie die Erde. Er würde daher infolge seiner wirklichen Bewegung allein am Himmel nach Westen (rechts) hin fortrücken müssen, während die Bewegung der Erde für sich wiederum eine Verschiebung nach Osten hervorrufen würde. Der scheinbare Ort des Planeten erführe daher keine Änderung, wenn beide Weltkörper ihre wahre Bahn mit der nämlichen Geschwindigkeit durcheilten. Thatsächlich sind nun Merkur und Venus zur Zeit der unteren Konjunktion rückläufig, was sich daraus erklärt, daß beide Planeten in ihrer Bahn schneller fortschreiten als die Erde

*) Also umgekehrt wie beim Monde, s. §. 287.

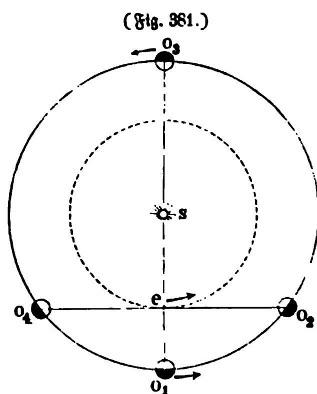
in der ihrigen, und daß infolgedessen die aus der Bewegung der Planeten entspringende Scheinbewegung durch die Bewegung der Erde nur vermindert wird.

Ein anschauliches Bild von dem scheinbaren Laufe eines Planeten erhält man, wenn man sich, entsprechend dem Augenschein, vorstellt, daß die Sonne sich um die ruhende Erde bewege und mit der Sonne zugleich der Planet, indem er letztere umkreist. Man erkennt dann leicht, daß der Planet im allgemeinen rechtläufig erscheinen, daß er aber stets bei der unteren Konjunktion für einige Zeit rückläufig werden muß.

Daraus, daß die größte Ausweichung von der Sonne für Merkur (im Mittel) nur 23°, für Venus hingegen 46° beträgt, geht hervor, daß Merkur die Sonne in einem geringeren Abstande umkreist als Venus. Da ferner die rückläufige Bewegung für Merkur stärker ist wie für Venus, diese Bewegung aber nach dem Obigen durch den Überschuß der wahren Bewegung des Planeten über die wahre Bewegung der Erde hervorgerufen wird, so ergiebt sich noch, daß Merkur in seiner Bahn schneller fortschreitet als Venus.

Wie der scheinbare Lauf der unteren, so erklärt sich auch in entsprechender Weise der der oberen Planeten durch die Annahme, daß diese die Sonne in größerer Entfernung und mit geringerer Geschwindigkeit umkreisen als die Erde. Für einen oberen Planeten ist dann der scheinbare Durchmesser am größten bei der Opposition o_1 (Fig. 381), am kleinsten bei der Konjunktion o_3. In beiden Stellungen wendet er der Erde e die ganze beleuchtete Seite zu; dagegen ist in den Quadraturen o_2 und o_4 ein kleines Stück der nicht beleuchteten Hälfte gegen die Erde gerichtet. Dasselbe wird aber verschwindend klein ausfallen, der Planet (nahezu) als vollständige Scheibe erscheinen, wenn er vielmal weiter von der Sonne absteht als die Erde. Aus diesem Grunde läßt sich nur noch beim Mars, welcher unter den oberen Planeten der Sonne am nächsten ist, ein geringer Wechsel der Lichtgestalt deutlich wahrnehmen.

(Fig. 381.)



Eine der obigen ähnliche Überlegung ergiebt ferner leicht, daß auch ein oberer Planet im allgemeinen rechtläufig ist, daß er aber jedesmal bei der Opposition o_1 rückläufig sein muß, da dann die aus der Bewegung der Erde entspringende Bewegung für den scheinbaren Ort des Planeten eine rückläufige ist, welche durch die eigene Bewegung des langsamer fortschreitenden Planeten nur vermindert wird.

Bislang haben wir angenommen, daß die Bewegung der Planeten in der Ebene der Ekliptik vor sich gehe. In Wirklichkeit sind die Ebenen der Planetenbahnen ein wenig gegen die Ebene der Ekliptik geneigt, woraus sich dann erklärt, daß die Planeten bald etwas nördlich, bald etwas südlich von der Ekliptik erscheinen, und daß sie bei ihrer rückgängigen Bewegung geschlängelte oder schleifenartige Wege beschreiben.

Da wir infolge der Bewegung der Erde um die Sonne unseren Standort im *Weltraume* beständig verändern, so wird uns ein Planet nicht gerade wieder an der

nämlichen Stelle des Himmels erscheinen, wenn er in seiner Bahn einen Umlauf vollendet hat. Andererseits müssen wir aber einen Planeten jedesmal in der Ekliptik, also in einem Knotenpunkte seiner Bahn, wahrnehmen, wenn er durch einen der Punkte geht, in welchen seine Bahn die Ebene der Ekliptik durchschneidet. Es giebt uns daher die Zeit, nach welcher ein Planet wieder zu dem nämlichen Knoten zurückkehrt, d. h. die siderische Umlaufszeit des Planeten, seine wahre Umlaufszeit um die Sonne.

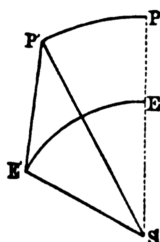
Nach dem Vorhergehenden ist die Erde selbst als ein Planet aufzufassen. Die Planeten umkreisen die Sonne entgegen der Bewegung eines Uhrzeigers und zwar mit um so größerer Geschwindigkeit, je näher sie der Sonne stehen. Von dieser aus folgen sie in der Reihe: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn.

Der wechselvolle Lauf der Planeten am Himmel hat sich uns als Folge des Umstandes ergeben, daß wir die Planeten von der Erde oder dem geocentrischen Standpunkte aus betrachten. Von der Sonne oder dem heliocentrischen Standpunkte aus würden wir die Planeten am Himmel, ebenso wie Sonne und Mond, von Westen nach Osten in Hauptkreisen einherschreiten sehen.

Die siderische Umlaufszeit eines Planeten kann man nach dem Obigen durch Beobachtung zweier aufeinanderfolgenden Durchgänge desselben durch den nämlichen Knoten zu ermitteln versuchen; doch läßt sich der Zeitpunkt eines solchen Durchganges wegen der geringen Neigung der Planetenbahnen gegen die Ekliptik nicht scharf beobachten. — Genauer vermag man durch Beobachtung die synodische Umlaufszeit festzustellen. Hierzu beobachtet man bei einem oberen Planeten zwei aufeinanderfolgende Oppositionen; bei einem unteren benutzt man die obere oder untere Konjunktion und zwar bestimmt man kurze Zeit vor und nach derselben seine Längenunterschiede mit der Sonne. Verhalten sich dieselben etwa wie 5 : 6, so teilt auch der Zeitpunkt der Konjunktion die Zwischenzeit sehr nahe nach diesem Verhältnisse.

Aus der synodischen Umlaufszeit läßt sich dann die siderische durch Rechnung ableiten. Es handle sich z. B. um Mars. Seine synodische Umlaufszeit beträgt $779^1/_2$ Tg. Es ist dies also die Zeit von einer Opposition des Mars mit der Sonne bis zur nächsten. In dieser Zeit muß offenbar die Erde dem Planeten, indem beide entgegen der Uhrzeigerbewegung in ihren Bahnen fortschreiten, um 360° vorauseilen. Der Planet bleibt also täglich um $\frac{360}{779^1/_2}{}^0$ hinter der Erde zurück. Diese aber schreitet in ihrer Bahn täglich um $\frac{360}{365^1/_4}{}^0$ fort. Mithin beträgt die tägliche Bewegung des Planeten $\frac{360}{365^1/_4} - \frac{360}{779^1/_2}$. Hiernach umfaßt die siderische Umlaufszeit des Mars so viel Tage, als diese Zahl in 360 enthalten ist; das giebt 687 Tg. — Ganz ähnlich gestaltet sich die Rechnung für einen unteren Planeten; nur ist zu beachten, daß dieser der Erde vorauseilt, und daß daher die tägliche Bewegung des Planeten gleich ist der täglichen Bewegung der Erde vermehrt um das tägliche Voreilen des Planeten.

(Fig. 382.)



Den Abstand eines unteren Planeten kann man einfach bestimmen, wenn man seine größte Ausweichung von der Sonne u_2es (Fig. 380, S. 489) gemessen hat. Da nämlich Wkl. eu_2s ein rechter ist, so ergiebt sich aus dem Dreieck eu_2s, wenn der gesuchte Abstand des Planeten von der Sonne $u_2s = r$, der bekannte Abstand der Erde von der Sonne $es = R$ und Wkl. $u_2es = \alpha$ gesetzt wird,

$$r = R \operatorname{tg} \alpha.$$

Allgemein läßt sich der Abstand eines Planeten von der Sonne ermitteln, wenn die siderische Umlaufszeit desselben bekannt ist. Es sei S (Fig. 382) die Sonne, E die Erde und P ein oberer Planet zur Zeit seiner Opposition mit der Sonne; danach aber seien die Erde und der Planet in ihren Bahnen bis E' und P' fortgeschritten. Dann ergiebt sich aus der verflossenen Zeit die Größe der von der Erde und dem Planeten durchlaufenen Bogen EE' und PP', folglich auch der Unterschied der zugehörigen Winkel ESE' — PSP' = P'SE'. Mißt man nun, wenn die Erde in E' steht, noch die Ausweichung des Planeten P' von der Sonne,

d. h. Wkl. P'E'S, so kennt man, da E'S als Abstand der Erde von der Sonne bekannt ist, in dem Dreieck P'E'S 1 Seite und 2 Winkel; man kann mithin auch P'S, d. h. den Abstand des Planeten von der Sonne finden.*) Bei einem unteren Planeten braucht man nur E als den Planeten und P als die Erde aufzufassen.

Über die genaueste Bestimmung der Planetenabstände von der Sonne s. d. folg. §.

§. 293. **Gesetze der Planetenbewegung.** Wie der unmittelbare Augenschein zunächst zu der Vorstellung führt, daß die Erde unbeweglich im Mittelpunkte des Weltalls stehe, daß aber die Sonne, der Mond und sämtliche Sterne die Erde umkreisen, so war diese Ansicht auch die herrschende bis tief in das Mittelalter hinein; nur erkannte man schon früh, daß Merkur und Venus sich um die Sonne bewegten, und nahm daher an, daß dieselben zunächst unmittelbar um die Sonne und erst mit dieser zugleich um die Erde liefen. Gegen die Mitte des 16. Jahrhunderts (1543) wurde von Kopernikus zuerst die richtige Ansicht ausgesprochen, daß die Erde sich täglich um eine unveränderliche Achse drehe und ferner jährlich um die Sonne bewege, und daß ebenso sämtliche Planeten die Sonne umliefen. Indem er so die Sonne zum Mittelpunkte des Planetensystems machte, zeigte er, wie sich aus dieser Annahme die Bewegungen der Gestirne am Himmel auf einfache Weise erklären (vergl. d. vor. §.).

Einen Irrtum teilte freilich Kopernikus noch mit den früheren Astronomen, indem er annahm, daß die Planeten in Kreisen um die Sonne liefen. Diese Annahme genügte zwar den Beobachtungen angenähert; doch sind bei genauen Messungen die Schwankungen des scheinbaren Durchmessers und der scheinbaren Geschwindigkeit der Planeten hiermit nicht in Übereinstimmung zu bringen (vergl. auch §. 279 und 288). Aus sorgfältigen Beobachtungen über den Lauf der Planeten hat zuerst Kepler im Anfange des 17. Jahrhunderts (1609—1619) die nach ihm benannten, schon in §. 42 b aufgeführten 3 Gesetze der Planetenbewegung ermittelt. Dieselben gehen theoretisch als notwendige Folgerungen aus einem allgemeinen Princip, dem Newtonschen Gravitationsgesetze, hervor, worüber sich ebenfalls schon in §. 42, b näheres angegeben findet.

Vermöge des 3. Keplerschen Gesetzes läßt sich das Verhältnis der (mittleren) Planetenabstände von der Sonne aus den beobachteten Umlaufszeiten genau berechnen. Man vermag daher auch die Abstände selbst zu bestimmen, sobald dies für einen Planeten gelungen ist. — Das nämliche Keplersche Gesetz bietet nun auch die Möglichkeit, das in §. 282 beschriebene Verfahren mittelbar zur Bestimmung der Sonnenparallaxe oder des Abstandes der Erde von der Sonne anzuwenden, indem man zunächst den Abstand eines Planeten von der Erde ermittelt und zwar für den Fall, daß der Planet mit der Erde und der Sonne in derselben Geraden, also mit letzterer in Konjunktion oder Opposition steht. Vermöge des 3. Keplerschen Gesetzes ergiebt sich dann nämlich auch leicht das Verhältnis der Abstände des Planeten und der Sonne von der Erde. Es befinde sich z. B. Mars in Opposition mit der Sonne, d. h. die Erde zwischen Sonne und Planet. Wird nun der Abstand der Erde von der Sonne = 1 gesetzt, so ist der des Mars von der Sonne, berechnet aus den Umlaufszeiten, angenähert = 1,5, mithin der Abstand des Planeten von der Erde zur Zeit seiner Opposition = 0,5. Es verhalten sich demnach die Abstände der Sonne und des Planeten von der Erde wie 1 : 0,5 = 2 : 1. Weiter verhalten sich nun aber offenbar die Parallaxen der Sonne und des Planeten umgekehrt wie die Abstände beider von der Erde. Hat man also z. B. die Parallaxe des Mars ermittelt, so ist die der Sonne dem Vorstehenden zufolge halb so groß. — Für die Anwendung dieses Verfahrens ist natürlich erforderlich, daß der Planet bei seiner Opposition oder Konjunktion der Erde erheblich näher steht als die Sonne, wie dies d. B. hinsichtlich des Mars bei seiner Opposition der Fall ist.

---

*) Siehe Trigonometrie §. 56.

Von allen Planeten kommt der Erde am nächsten die Venus, wenn sie bei ihrer unteren Konjunktion zwischen Erde und Sonne tritt. Dabei ereignet es sich zuweilen, daß die Venus gerade vor der Sonne hergeht. Bei einem solchen Durchgange sieht man die Venus als eine kleine schwarze Scheibe sich auf der hellen Sonnenscheibe fortbewegen, und zwar erblicken zwei Beobachter an passend gewählten, weit von einander entfernten Orten die Venus zu derselben Zeit auf der Sonnenscheibe, aber infolge parallaktischer Verschiebung an verschiedenen Stellen. Aus dieser Verschiebung läßt sich zunächst die Parallaxe der Venus und aus letzterer dann nach dem Obigen die der Sonne ableiten.

Venusdurchgänge finden nur äußerst selten statt, indem immer nach einem Zeitraume von mehr als 100 Jahren 2 Durchgänge in 8 Jahren auf einander folgen. Die letzten waren am 8. Dez. 1874 und am 6. Dez. 1882, während die vorhergehenden am Ende des 18. Jahrhunderts waren, die nächstfolgenden aber erst nach dem Jahre 2000 eintreten werden.

Vermöge des Gravitationsgesetzes kann man aus der Anziehung, welche zwei Weltkörper in gleicher Entfernung ausüben, auf das Verhältnis ihrer Massen schließen. Es läßt sich so die Masse eines Planeten, welcher von einem Monde begleitet ist, mit der Masse der Sonne vergleichen. Um z. B. das Verhältnis zwischen der Masse der Erde und der Sonne zu finden, berechnet man zunächst die Beschleunigung, welche der Mond durch die anziehende Kraft der Erde, und desgleichen die Beschleunigung, welche die Erde durch die anziehende Kraft der Sonne erfährt. Die erstere ist nach §. 42, b, Anm. = 2,7 mm; die letztere ergiebt sich auf gleiche Weise nach Gl. 5 der Anmerkung des §. 42 a (den Abstand der Erde von der Sonne = 149·10⁶ km, das Jahr = 365¼ Tg. gesetzt) $= \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 149 \cdot 10^6 \cdot 10^6}{(365^1/_4 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)^2} = 5{,}9$ mm. Es ist aber die Sonne von der Erde (rund) 390 mal weiter entfernt als der Mond (s. §. 282); sie wird also in der nämlichen Entfernung wie dieser zufolge des Gravitationsgesetzes auch eine 390^2 = (rund) 152 000 mal stärkere Anziehung, also eine Beschleunigung von 5,6 . 152 000 = 897 000 mm bewirken. Bei gleicher Entfernung verhalten sich nun die anziehenden Kräfte wie die Massen. Hiernach ist, wenn wir die Masse der Erde = 1 setzen, die der Sonne (rund) $= \frac{897\,000}{2{,}7} = 330\,000$.

Bei den Planeten, welche nicht von einem Monde begleitet sind, hat man die Größe ihrer Masse aus den Störungen abzuleiten gesucht, welche sie im Laufe benachbarter Planeten bewirken (s. §. 285). — Die Masse des Mondes ist aus den Erscheinungen der Ebbe und Flut ermittelt worden, indem man dabei die Wirkung des Mondes mit derjenigen der Sonne verglichen hat (s. §. 22, Anm.).

Auf Grund des Gravitationsgesetzes hat man ferner auch Versuche angestellt, um die Dichtigkeit der Erde zu ermitteln, indem man die Anziehung, welche die Masse eines Berges ausübt, sowie auch die Anziehung großer Metallmassen mit der Anziehung der Erde verglich. (Siehe darüber auch §. 22, Anm.) Aus solchen Versuchen hat sich im Durchschnitt für die Dichte der Erde, wenn die des Wassers = 1 gesetzt wird, der (angenäherte) Wert 5,5 ergeben.

§. 294. Die Planeten. Außer den mit freiem Auge sichtbaren 5 Planeten (s. §. 291) lassen sich im Fernrohr noch 2, Uranus und Neptun, wahrnehmen, die ebenfalls als kleine Lichtscheiben erscheinen, ferner mehrere hundert, welche sich nur als Lichtpunkte zeigen. Der wahre Durchmesser ist bei den letzteren vielmal geringer als bei den ersteren. Es bewegen sich also um die Sonne einschließlich der Erde 8 große Planeten. Dieselben sind nachstehend angegeben, wie sie von der Sonne aus aufeinanderfolgen; zugleich stehen darunter ihre mittleren Abstände von der Sonne (in Mill. geogr. Meil.):

Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
7,7	14,5	20	30,5	104	191	384	602

Fig. 383 stellt für die 5 der Sonne nächsten Planeten die verhältnismäßigen bstände von derselben dar. Während die Abstände der 4 ersten Planeten und ebenso e der 4 letzten ziemlich gleichmäßig zunehmen, findet vom Mars zum Jupiter ein auffallender Sprung statt. In diesem Zwischenraume bewegt sich die große Schar der **kleinen** Planeten. Man teilt hiernach die Planeten in 3 Gruppen, eine **innere**: Merkur, Venus, Erde und Mars, eine **mittlere**: die kleinen Planeten, auch **Planetoiden** oder **Asteroiden** genannt, und eine **äußere**: Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun.

(Fig. 383.)



Sonne.

Merkur.

Venus.

Erde.

Mars.

Die äußeren Planeten zeichnen sich vor den inneren noch durch die beträchtliche Größe aus. Der kleinste unter den großen Planeten ist Merkur, der größte Jupiter; der Durchmesser des ersteren ist beinahe 3 mal kleiner, der des letzteren dagegen über 11 mal größer als der Durchmesser der Erde. Der größte unter den kleinen Planeten hat einen über 30 mal kleineren Durchmesser als die Erde.

Die Planeten drehen sich, soweit Beobachtungen durch Fernröhre dies erkennen lassen, um eine durch ihren Mittelpunkt gehende **Achse** und zwar alle in dem nämlichen Sinne, entgegen der Bewegung eines Uhrzeigers. Sie sind mit Ausnahme der beiden unteren Planeten Merkur und Venus von einem oder von mehreren **Monden** (**Trabanten**, **Satelliten**) begleitet; Saturn ist überdies noch von einem **Ringe** umgeben. — Daß die Planeten ihr Licht von der Sonne empfangen, wird für diejenigen, bei welchen infolge zu großer Entfernung von der Sonne ein Wechsel der Lichtgestalt nicht mehr stattfindet (s. §. 292), durch den Schatten dargethan, welchen die begleitenden Monde, wenn sie zwischen die Sonne und den Hauptplaneten treten, auf diesen werfen.

Bei den **großen** Planeten weichen die Ebenen der Bahnen, in denen sie um die Sonne laufen, nur um kleine Winkel von der Ebene der Erdbahn, die Bahnen selbst aber nur wenig von einem Kreise ab. Am stärksten sind diese Abweichungen bei Merkur (s. unten).

Unter den Planeten der inneren Gruppe hat die Erde 1, der Mars 2 (erst 1877 entdeckte) Monde; dagegen sind die Planeten der äußeren Gruppe sämtlich von Monden begleitet. Jupiter hat deren 4, Saturn 8, Uranus 4, Neptun 1. Auch diese Monde wenden, soweit die Beobachtungen dies erkennen lassen, eben so wie der Mond der Erde, dem Hauptplaneten beständig dieselbe Seite zu.

An dem breiten und dünnen Ringe, welcher den Saturn in der Ebene seines Äquators frei umschwebt, lassen sich zwei konzentrische, durch einen dunklen Zwischenraum von einander getrennte Teile unterscheiden. Der Ring wirft ebensowohl Schatten auf den Saturn wie dieser auf den Ring. Man nimmt an, daß er aus kleinen, um den Saturn sich bewegenden Körperchen gebildet wird.

[illegible] **kleinen** Planeten, von denen 4 (**Ceres**, **Pallas**, **Juno**, **Vesta**) zu [illegible], die übrigen seit der Mitte dieses Jahrhunderts entdeckt worden sind, hat man [illegible] aufgefunden. Bei vielen derselben weicht die Bahnebene erheblich von der [illegible] Bahn selbst von einem Kreise ab. Bei den größten (**Ceres** und **Vesta**) [illegible] 380 km, bei dem kleinsten (**Agathe**) noch nicht 10 km.

Die folgenden Tafeln enthalten einige Zahlenangaben über die großen Planeten und die Sonne.

I.

Name und Zeichen.	Mittlere Entfernung von der Sonne		Excentricität.	Umlaufszeit.				Mittlere Geschwindigkeit in 1 Sekunde.	Neigung der Bahn gegen die Ekliptik.	
	die der Erde = 1 gesetzt.	in Mill. Kilometer.		Siderisch.		Synodisch.				
				Jahr.	Tag.	Jahr.	Tag.	Kilometer.	Grad.	Min.
ır . . . . ☿	0,3871	57,5	0,2056	—	87,97	—	115,9	47,6	7	0
s . . . . . ♀	0,7233	107,5	0,0068	—	224,70	1	218,7	34,8	3	24
. . . . . . ♁	1,0000	148,6	0,0168	(1 =)	365,26	—	—	29,6	—	—
. . . . . . ♂	1,5237	226,5	0,0933	1	321,72	2	49,0	24,0	1	51
er . . . . ♃	5,2028	773,2	0,0483	11	314,72	1	33,6	13,0	1	19
rn . . . . ♄	9,5389	1417,8	0,0561	29	166,68	1	12,8	10,0	2	30
us . . . . ♅	19,1834	2851,3	0,0464	84	4,67	1	4,3	7,0	0	46
ın . . . . ♆	30,0567	4467,5	0,0085	164	284,00	1	2,3	5,4	1	47

II.

ame.	Durchmesser		Scheinbarer Durchmesser in Sekunden.		Umdrehungszeit.		Abplattung.	Masse, die der Erde = 1 gesetzt.	Dichte, die des Wassers = 1 gesetzt.
	in Kilometer.	der der Erde = 1 gesetzt.	Größter.	Kleinster.	Std.	Min.			
ur . .	4 820	0,4	12,9	4,5	24	5	—	0,04	4,9
s . . .	11 970	0,9	65,2	9,5	23	21	—	0,78	5,3
. . . .	12 760	1,0	—	—	23	56	1/299	1,00	5,6
) . . .	6 750	0,5	25,6	3,5	24	37	1/210	0,11	4,1
ter . .	143 760	11,3	50,7	30,8	9	55	1/14	308	1,3
rn . .	123 730	9,7	21,5	15,5	10	29	1/10	92	0,6
us . .	59 170	4,6	4,7	3,9	—	—	1/10	15	0,9
ın . .	54 980	4,3	2,7	2,4	—	—	—	16	1,1
					Tage.	St.			
ıe . .	1 386 700	108,7	1956,5	1891,9	25	4 (?)	—	322 800	1,4

*§. 295. **Die Störungen.** Da die Planeten sich auch gegenseitig anziehn, en dieselben keine vollkommenen Ellipsen um die Sonne beschreiben; vielmehr ȝen ihre Bahnen etwas von der Ellipse ab, indem sie um diese gleichsam in en Schwankungen hin und her schwingen. Derartige Abweichungen nennt man ırungen. Verglichen mit der eigentlichen elliptischen Bewegung haben diese ıeichungen übrigens nur eine geringe Größe, da die ungeheure Masse der Sonne aller Planeten zusammen mehr als 800 mal übertrifft.

Bei einem von Monden begleiteten Planeten werden auch durch diese Störungen ıer Bewegung des Hauptplaneten hervorgebracht; in dem elliptischen Laufe der ɜnplaneten um den Hauptplaneten aber bewirkt besonders die Sonne sehr ichtliche Störungen.

So ist z. B. die Anziehung der Sonne auf den Mond der Grund für die rückgängige Bewegung der Knoten der Mondbahn (s. §. 286). Befindet sich nämlich der Mond nördlich von der Ekliptik, so wird derselbe durch die Sonne nach der Ekliptik hinabgezogen, infolgedessen der Mond früher in diese eintritt, als sonst der Fall sein würde. Ähnliches geschieht, wenn der Mond südlich von der Ekliptik ist, indem er dann von der Sonne aufwärts gezogen wird.

Auch die Schwankungen der Erdachse (§. 274) erklären sich als Störungen. Wir können nämlich die Erde wegen ihrer abgeplatteten Gestalt gewissermaßen als eine Kugel betrachten, welche am Äquator von einem wulstförmigen Ringe umgeben ist. Indem nun die Sonne diesen Ring, welcher gegen die Ebene der Ekliptik geneigt ist, in dieselbe hineinzuziehen strebt, entstehen die Schwankungen der Erdachse, welche den Rückgang der Nachtgleichen verursachen. — Ebenso hat eine ähnliche Wirkung des Mondes die Nutation der Erdachse zur Folge.

Durch die Störungen werden die Rechnungen über den Lauf der Planeten in einer Weise erschwert, daß eine vollständige Übereinstimmung mit den Beobachtungen nicht zu erreichen ist. Andererseits haben gerade die Störungen zu einer höchst wichtigen Entdeckung geführt. Der französische Astronom Le Verrier hat nämlich aus den Störungen, welche Uranus in seiner Bahn erleidet, das Vorhandensein und selbst den Ort eines jenseit des Uranus befindlichen, bis dahin noch unbekannten Planeten, des Neptun, hergeleitet, welcher dann wirklich nahe an der betreffenden Stelle (1846) aufgefunden wurde.

Da auch die Planeten anziehend auf die Sonne wirken, so muß letztere infolge der wechselnden Gruppierung der Planeten bald mehr nach der einen, bald mehr nach einer anderen Seite hin gezogen werden; diese Schwankungen der Sonne sind jedoch wegen der vielmal größeren Masse derselben verschwindend klein.

Über die Erscheinungen der Ebbe und Flut siehe §. 22, Anm.

§. 296. Kometen. Zuweilen erscheinen am Himmel Gestirne, welche wie die Planeten unter den Fixsternen fortschreiten, aber nach einigen Wochen oder Monaten wieder verschwinden; sie heißen Kometen (κομήτης, Haarstern). Die meisten werden nur im Fernrohr wahrgenommen.

Das Aussehen der Kometen ist ebenso mannigfaltig als veränderlich. Gewöhnlich unterscheidet man einen sternartigen Kern, welcher von einer weniger hellen, nebelartigen Hülle umgeben ist. An diesen Teil, den Kopf, schließt sich bei den großen Kometen meist noch ein Schweif, welcher gegen das Ende immer breiter und lichtschwächer wird. Bei einigen Kometen erstreckt sich der Schweif über einen großen Teil des Himmels; bei vielen jedoch, besonders den kleinen, fehlt der Schweif, bei manchen auch der Kern.

Die Kometen zeigen sich in den verschiedensten Gegenden des Himmels und schreiten nach allen möglichen Richtungen hin fort. Sie bewegen sich wie die Planeten gemäß dem Gravitationsgesetz um die Sonne; ihre Bahnen können aber unter jedem Winkel gegen die Ekliptik geneigt sein und sind sehr lang gestreckt. Die meisten Kometen kommen aus unendlicher Entfernung in die Nähe der Sonne und verlieren sich darauf wieder in die unermeßlichen Himmelsräume. Bei einigen ist ein wiederholter Umlauf um die Sonne beobachtet und als Bahn eine Ellipse berechnet worden.

Zu den Kometen gehören die größten Körper unseres Sonnensystems, indem besonders der Schweif bei einigen eine ungeheure Länge erreicht, welche den Abstand der Erde von der Sonne noch übertrifft. Trotzdem kann die Masse eines Kometen nur *sehr gering* sein, wie aus folgendem hervorgeht: Man vermag durch die Kometen

hindurch auch sehr kleine Fixsterne noch deutlich wahrzunehmen; kommt ferner ein Komet in die Nähe eines Planeten, so erleidet er selbst in seinem Laufe die erheblichsten Störungen, während bei dem Planeten oder den Monden desselben auch nicht die kleinste Schwankung wahrzunehmen ist.

Durch die Spektralanalyse (§. 207, a) ist festgestellt, daß die Kometen nicht nur von der Sonne empfangenes Licht zurückwerfen, sondern auch eigenes Licht aussenden, welches von glühenden Gasen herstammt. Im übrigen bieten die Kometen noch sehr viel Rätselhaftes. Nach neueren Untersuchungen gehören sie mit den Sternschnuppen und Feuerkugeln zu der nämlichen Gruppe von Himmelskörpern (s. d. folg. §.). — Ausführlicheres über Kometen siehe in des Verfassers Math. Geogr., 3. Aufl.

§. 297. Sternschnuppen. In hellen Nächten kann man fast immer mehr oder weniger häufig die Erscheinung einer Sternschnuppe wahrnehmen: man sieht diese plötzlich irgendwo am Himmel aufleuchten, mit großer Geschwindigkeit sich eine Strecke fortbewegen und dann eben so plötzlich, gewöhnlich schon nach Bruchteilen einer Sekunde, wieder erlöschen. Die Sternschnuppen, auch Meteore genannt, sind meist sternartig ohne scheinbaren Durchmesser; zuweilen zeigen sich aber auch Meteore, welche eine deutliche scheinbare Größe haben. Dieselben werden auch als Feuerkugeln bezeichnet.

In manchen Fällen hat man Feuerkugeln zur Erde niederstürzen sehen; zuweilen zersprangen sie in einer gewissen Höhe; bald darauf vernahm man ein donnerartiges Getöse, und es fielen steinartige Massen (Meteoriten) zur Erde. Dieselben enthalten nur Stoffe, welche auch anderweitig auf der Erde vorkommen. In vielen wird gediegenes Eisen (Meteoreisen) angetroffen.

Nach der gegenwärtigen Ansicht sind die Sternschnuppen kleine Himmelskörper, welche sich mit großer Geschwindigkeit um die Sonne bewegen. Kommen dieselben der Erde so nahe, daß sie in deren Atmosphäre eintreten, so wird ihre Bewegung durch den Widerstand der Luft in kürzester Zeit sehr gehemmt und so (nach §. 253, a) in Wärme umgesetzt, wobei dann die Sternschnuppen sich bis zum heftigsten Glühen erhitzen und verbrennen können.

Gewisse Nächte des Jahres zeichnen sich durch große Häufigkeit von Sternschnuppen aus, z. B. besonders die Nächte um den 10. Aug. und den 13. Nov. Diese Erscheinung erklärt man durch die Annahme, daß Schwärme von Sternschnuppen in elliptischen Ringen die Sonne umkreisen, und daß die Erde an gewissen Stellen ihrer Bahn durch diese Ringe hindurchgeht. Bei mehreren Sternschnuppenschwärmen hat sich herausgestellt, daß deren Bahnen mit denen bestimmter Kometen übereinstimmen. Hiernach ist man jetzt der Ansicht, daß Sternschnuppenschwärme ihre Entstehung dem Zerfallen von Kometen verdanken, indem sich letztere bei wiederholten Umläufen um die Sonne in solche Schwärme auflösen.

Die größte auf der Erde entdeckte Meteormasse wurde 1870 in Grönland gefunden; man schätzt ihr Gewicht auf 25 000 kg. — Ausführlicheres über Meteore siehe in des Verfassers Math. Geogr., 3. Aufl.

E. Das Weltall.

§. 298. Die Fixsterne. Siehe zunächst §. 261 u. 282. — Nach §. 282 beträgt die jährliche Parallaxe eines Fixsternes noch nicht 1″ und infolgedessen der Abstand des nächsten über 200 000 Erdweiten. In dieser Entfernung würde uns

ein Körper unter einem Winkel von 1″ erscheinen,*) wenn sein wahrer Durchmesser = 1 Erdweite oder 150 Mill. Kilom., also mehr als 100 mal größer wäre als der Durchmesser der Sonne (§. 284). Bei einem scheinbaren Durchmesser von $^1/_{10}$″ würde der wahre Durchmesser den der Sonne noch mehr als 10 mal übertreffen. In den besten Fernrohren erscheint aber ein Körper von $^1/_{10}$″ scheinbarem Durchmesser nur als Punkt. Es können daher die Fixsterne unsere Sonne ganz erheblich an Größe übertreffen. — Zugleich müssen sie ebenfalls ein äußerst starkes Licht ausstrahlen.

Während die größeren Sterne ziemlich gleichmäßig über den Himmel zerstreut erscheinen, stehen die kleineren oft auffallend gedrängt zusammen, so vor allem in der Milchstraße, welche den ganzen Himmel in der Form eines Gürtels von ungleicher Breite umgiebt.

Nach den Ergebnissen der Spektralanalyse bestehen die Fixsterne wie unsere Sonne (s. §. 285) aus einer innern, weißglühenden Masse, die von einer schwächer leuchtenden Atmosphäre umgeben ist, in welcher viele Stoffe in Gas- oder Dampfform enthalten sind. Mehrere dieser Stoffe, und zwar bei verschiedenen Fixsternen teils gleiche, teils verschiedene, sind solche, welche auch auf unserer Erde vorkommen.

Durch das Fernrohr werden viele Sterne, welche dem bloßem Auge einfach erscheinen, in 2, zuweilen auch 3 oder mehr Sterne zerlegt. Genaue Beobachtungen haben ergeben, daß dieses Zusammenstehen von Sternen am Himmel gewöhnlich nicht bloß scheinbar ist, sondern daß die betreffenden Sterne zusammengehören, indem der eine sich um den anderen herumbewegt. Man nennt solche Sterne **Doppelsterne**.

Bei vielen Sternen beobachtet man ferner eine Änderung in der Lichtstärke, bei manchen einen Wechsel in der Farbe.

An manchen Stellen des Himmels sieht man schon mit bloßem Auge nebelartige Gebilde. Viele **Nebelflecke** stellen sich im Fernrohr als Haufen dicht zusammenstehender Sterne heraus; andere werden auch durch die stärksten Vergrößerungen nicht in Sternhaufen aufgelöst. Von diesen letzteren bestehen manche nach den Ergebnissen der Spektralanalyse aus glühenden Gasen, besonders Wasserstoff und Stickstoff.

§. 299. Fortschreitende Bewegung der Sonne und der Fixsterne. Der Umstand, daß die Sonne sich um eine Achse dreht, macht es wahrscheinlich, daß dieselbe auch eine fortschreitende Bewegung im Weltraum hat, da alle Himmelskörper, an denen wir eine Achsendrehung beobachten, auch eine fortschreitende Bewegung zeigen. Ist diese Annahme richtig, so können uns die Fixsterne nicht beständig die nämliche gegenseitige Stellung zeigen, insbesondere müssen die scheinbaren gegenseitigen Abstände bei den Sternen zunehmen, welche in einer Richtung stehn, nach der die Sonne und mit ihr die Erde sich hinbewegen, dagegen die Abstände bei den in entgegengesetzter Richtung stehenden Fixsternen sich verringern. In der That haben solche Untersuchungen dargethan, daß die Fixsterne innerhalb sehr langer Zeiträume ihre gegenseitige Stellung ein wenig ändern, und weiter zu dem Ergebnisse geführt, daß die Sonne sich gegenwärtig gegen einen in dem Sternbilde des Herkules liegenden Punkt hin bewegt. — Die an den Fixsternen beobachteten Bewegungen weisen ferner auch noch darauf hin, daß die Fixsterne selbst eben so wie die Sonne im Weltraume fortschreiten.

*) Siehe die Bemerkung unter dem Text auf Seite 478.

Register.

Seite

Abendröte 319
Abendweite 454
Aberration des Lichtes 480
Absorption der Gase 109
Absorption des Lichtes 328
Abweichung, magnetische 150
Accomodation des Auges 366
Achromatismus 325
Achse der Erde 458
Achse, magnetische 142
Achse, optische 345
Adhäsion 9
Adiathermane Körper 430
Äolsharfe 261
Äquator der Erde 458
Äquator des Himmels 453
Äquatorhöhe 454
Äquator, magnetischer 151
Äquivalenz von Wärme und Arbeit 434
Aerostatik 23
Äther 283
Aggregatzustand 7
Akkumulator, elektrischer 225
Allotropie 127
Aluminium 115
Amalgamieren des Zinks 198
Ammoniak 126
Ammonium 140
Ampère 211
Ampèresche Regel 201
Ampèresche Theorie 240
Analyse, chemische 112
Aneroidbarometer 96
Anhydrid 138
Anode 222
Anticyklone 395
Aphelion 475
Aplanatismus 360
Apogäum 484
Aräometer 88
Arbeit 75
Archimedisches Princip 86
Artesische Brunnen 86
Astatische Doppelnadel 207
Asteroiden 494
Atmen 101
Atmometer 416
Atmosphäre 95
Atom 113
Atomgewichte 113
Atwoods Fallmaschine 54
Auftrieb 86
Auge 363
Ausdehnung 4
Ausdehnung durch Wärme 382
Ausflußgeschwindigkeit 90
Azimut 452

Ballistische Kurve 66
Barometer 95
Basen 119. 137
Batterie, elektrische 180
Batterie, galvanische 197
Beharrungsvermögen 14
Berührungselektricität 193
Beugung des Lichtes 337
Bewegung 13
Bild, reelles und geometrisches 348
Blasinstrumente 263
Bläue des Himmels 319
Blausäure 132
Bleibaum 223
Blitz 188
Blitzableiter 190
Blitzröhren 189
Blitztafel 185
Bogenlicht, elektrisches 227
Bohnenbergers Apparat 16
Brechung des Lichtes 296
Brechung der Wärmestrahlen 430
Brechung, doppelte des Lichtes 343
Brechungsexponent 298
Breite, geographische 458
Breite, astronomische 468
Brennglas 355
Brennpunkt 345. 348
Brennspiegel 348
Brillen 367
Brom 136
Brückenwage 37
Büschellicht, elektrisches 185
Bunsensche Kette 205
Bussole 143
Buys Ballots Windregel 392

Camera lucida 309
Camera obscura 361
Centralbewegung 72
Centrifugalkraft 68
Centrifugalregulator 412
Chemische Erscheinungen 111
Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes 221
Chemische Wirkungen des Lichtes 330
Chladnische Figuren 262
Chlor 135
Chromatische Abweichung 358
Chromosphäre 481
Chronoskop, elektrisches 237
Circumpolarsterne 454
Coaks 128
Cyan 132
Cyklone 395

Seite

Daltonsches Gesetz 415
Dämmerung 296
Dämpfe, Spannkraft ders. . 401
Dämpfe, mit Gasen vermischt 415
Dampfmaschine 409
Dampfpfeife 268
Daniellsche Kette 205
Datumsgrenze 460
Davysche Lampe 130
Decimalwage 37
Deklination, astronomische . 456
Deklination, magnetische . . 150
Depression, barometrische . . 395
Depression des Horizonts . 458
Diamagnetismus 156
Diathermane Körper 430
Dichtigkeit 19
Differentialflaschenzug . . . 38
Differentialthermometer . . 427
Diffusion der Flüssigkeiten . 11
Diffusion der Gase 109
Diffusion des Lichtes 296
Dimorphismus 167
Dioptrik 296
Diosmose 11
Dispersion des Lichtes . . . 312
Donner 188
Doppelsterne 498
Drehungsgesetz des Windes . 396
Drehwage, elektrische 167
Drehwage, magnetische . . . 144
Druck, hydrostatischer 82
Druck der Luft 94
Druckpumpe 103
Drummonds Kalklicht . . . 123
Durchsichtige Körper 285
Dynamik 23. 43
Dynamoelektrisches Princip . 246

Ebbe 21
Echo 276
Ei, elektrisches 185
Eigenschaften, allgemeine . . 4
Eisbereitung, künstliche . . . 409
Ekliptik 464
Elasticität 8
Elektricität 157
Elektricität, tierische 220
Elektricität der Luft 191
Elektricitätsgrad 174
Elektrische Figuren 187

Seite

Elektrische Lampe 227
Elektrisches Licht . . . 185. 227
Elektrische Pistole 185
Elektrisiermaschine 163
Elektrolyse 221
Elektrolytische Gesetze 223
Elektroden 200
Elektromagnetismus 231
Elektrometer 160
Elektromotorische Kraft . . . 193
Elektrophor 171
Elektroskop 160
Elemente, chemische 112
Element, galvanisches . . . 196
Elmsfeuer, St. 190
Emanationshypothese 284
Emission des Lichtes 326
Endosmose 12
Energie 79. 440
Energie, chemische 119
Energie, elektrische 187
Energie, magnetische 148
Erdbahn 475
Erdferne, -nähe des Mondes 484
Erdmagnetismus 152
Erhaltung der Kraft . . 80. 439
Erleuchtung 287
Eudiometer 124
Extrastrom 242

Fadenkreuz 452
Fall der Körper 53
Farben 316
Farben, natürliche 317
Farben, physiologische . . . 368
Farben dünner Blättchen . 333
Farbe des Himmels 319
Farbenbild, prismatisches . 312
Farbenbild, Wärmeverhältnisse desselben 434
Farbenzerstreuung 312
Fata Morgana 306
Feld, elektrisches 166
Feld, magnetisches 144
Fernrohr 375
Fernsprecher, elektrischer . . 252
Festigkeit 7
Feuchtigkeit 416
Feuerkugeln 497
Feuerspritze 103
Fixsterne 452. 497

Seite

Flageolet-Töne 261
Flamme 132
Flammen, sensitive 279
Flasche, elektrische 179
Flaschenelement 205
Flaschenzug 38
Flüssige Körper 81
Fluor 136
Fluorescenz 319
Flußsäure 137
Flut 21
Fortpflanzung des Schalles 269
Foucaults Pendelversuch . . 64
Franklinsche Tafel 178
Fraunhofersche Linien . . . 314
Frühlingspunkt 464
Funke, elektrischer 169
Funkeninduktor 244
Funkeln der Sterne 306

Galvanismus 192. 194
Galvanometer 206
Galvanoplastik 225
Galvanoskop 206
Gase 7. 404
Gasbeleuchtung 131
Gasmaschine 415
Gasvolume, Gesetz der . . . 140
Geißlersche Röhren 245
Geographie, mathematische . 450
Geräusch 257
Geschwindigkeit 13
Geschwindigkeit der Elektricität 182
Geschwindigkeit des Lichtes . 290
Geschwindigkeit des Schalles 270
Gesichtskreis 450
Gesichtswinkel 365
Gewicht, absolutes . . . 17. 19
Gewicht, specifisches 18
Gewitter 188
Glas 135
Gleichgewicht 23. 30
Glimmlicht, elektrisches . . . 185
Glockenspiel, elektrisches . . 164
Glühlicht, elektrisches 227
Gnomon 451
Gradient 396
Gramm 17
Gravitationsgesetz 20
Größe der bewegenden Kräfte 43

Seite	
Grovesche Kette	204
Grubengas	130
Grundeis	387
Grundton	260
Hagel	421
Halogene	137
Haloidsalze	137
Hammer, magnetischer	237. 244
Harmonika, chemische	268
Hebel	33
Heliostat	295
Herbstpunkt	464
Heronsball	103
Himmelsgegenden	451
Hindernisse der Bewegung	74
Höfe um Sonne und Mond	340
Höhenmessung, barometrische	97
Hörrohr	277
Hohlspiegel	345
Horizont	450. 457
Hydrat	123
Hydraulik	23
Hydraulische Presse	82
Hydroelektrisiermaschine	165
Hydrostatik	23
Hydroxyde	138
Hygrometer	416
Jahr	469
Jahreszeiten	465. 473
Induktion, elektrische	240
Induktion, magnetische	243
Induktionsapparat	244
Inflexion des Lichtes	337
Influenz, elektrische	169
Influenz, magnetische	145
Influenzmaschine	172
Inklination, magnetische	151
Interferenz der Lichtwellen	331
Interferenz der Schallwellen	279
Jod	136
Irradiation	368
Isobaren	394
Isochimenen	446
Isodynamische Linien	154
Isogonische Linien	151
Isoklinische Linien	152
Isolierung, elektrische	159
Isolierstuhl, elektrischer	165

Seite	
Isotheren	446
Isothermen	446
Kabel, elektrisches	233
Kälte, künstliche	400
Kältepole der Erde	448
Kaleidoskop	295
Kalmen	391
Kalorie	398
Kalorische Maschine	415
Kanalwage	86
Kapillarität	10
Kasten, optischer	355
Kathode	222
Katoptrik	291
Keil	41
Keplersche Gesetze	72
Kette, galvanische	196
Kette, konstante	203
Kette, thermoelektrische	230
Kiesel, Kieselsäure	135
Klang	257
Klangfarbe	269
Klangfiguren	262
Klima	444
Klingel, elektrische	236
Knallgas	122
Knallgas-Mikroskop	360
Koercitivkraft	146
Kohäsion	7
Kohlenoxydgas	129
Kohlensäure	128
Kohlenstoff	127
Kohlenwasserstoff	130
Kometen	496
Kommunizierende Röhren	85
Kommutator	201. 247
Kompaß	143
Kompensationspendel	63
Komplementäre Farben	316
Komponenten	23
Kompression der Flüssigkeiten	81
Kompressionspumpe	104
Kondensation der Gase	404
Kondensator, elektrischer	181. 245
Konduktor, elektrischer	163
Konjunktion	468
Kraft	2. 15. 22. 43
Kraft, lebendige	77
Kraftlinien, elektrische	144
Kraftlinien, magnetische	168

Seite	
Kraftübertragung, elektrische	252
Kryophor	409
Krystallisation	12
Krystallwasser	123
Kugelgestalt der Erde	457
Kulmination	454
Kurzsichtigkeit	367
Lachgas	126
Lackmus	119
Landhose	397
Länge, astronomische	468
Länge, geographische	458
Laterna magica	361
Leidenfrosts Versuch	407
Leitung der Elektricität	157
Leitung der Wärme	433
Leitungswiderstand, elektr.	212
Leuchtende Körper	284
Libration des Mondes	485
Licht	283
Lichtbilder	362
Lichtgestalten des Mondes	482
Lichtstrahl	286
Linsen, optische	351
Lippenpfeifen	263
Lokomotive	414
Luft, atmosphärische	124
Luftballon	108
Luftförmige Körper	93
Luftpumpe	104
Luftspiegelung	309
Luftthermometer	384
Luftzug	387
Lupe	373
Magazin, magnetisches	149
Magdeburger Halbkugeln	106
Magnesium	115
Magnet, Magnetismus	142
Magnetelektricität	243
Magnetelektrische Maschine	245
Magnetische Wirkungen des Stromes	200. 231
Magnetisierung durch Streichen	147
Magnetisierung durch den Strom	230
Magnetnadel	143
Magnetometer	151

	Seite
Mariottesches Gesetz	99
Maschine	32
Masse	5. 17. 44
Maßflasche, elektrische	181
Maßsysteme	45
Materie	5
Maximum, barometrisches	393
Mechanik	23
Mechanische Erscheinungen	3. 4
Meidingers Element	206
Meridian, astronomischer	451
Meridian, geographischer	458
Meridian, magnetischer	150
Metalle, Metalloide	115
Metallthermometer	385
Meteor, Meteorit	497
Meter	4
Mikrophon	254
Mikroskop	373
Minimum, barometrisches	393
Mittagskreis	451
Mittelkraft	23
Mittelpunkt der Kräfte	27
Mittönende Schwingung	278
Molekül	6. 113
Molekulargewicht	114
Moment, statisches	24. 34
Monat	482
Mond	484
Mondfinsternisse	485
Monochord	259
Monsune	390
Morgenröte	319
Morgenweite	454
Motor, magnetelektrischer	252
Multiplikator	207
Nachbilder	369
Nadir	450
Naturgesetz, Naturlehre	1
Nebel	419
Nebelflecke	498
Nebensonnen	340
Nebenstrom, elektrischer	241
Nebentöne	261
Neigung, magnetische	151
Newtonsche Farbenringe	334
Nicols Prisma	344
Nordlicht	192
Obertöne	261
Ohm	213

	Seite
Ohmsches Gesetz	214
Ohr, menschliches	281
Opposition	468
Optik	286
Optische Instrumente	344
Optische Kammer	289
Oxyd, Oxydation	119
Oxydul	120
Ozon	117
Panorama	355
Papinscher Topf	406
Parallaxe, jährliche	479
Parallaxe, tägliche	477
Parallele Kräfte	27
Parallelogramm der Kräfte	24
Passatwinde	391
Pendel, mathematisches	57
Pendel, physisches	60
Pendel, elektrisches	157
Perigäum	484
Perihelium	475
Pfeifen, offene und gedeckte	265
Pferdekraft	76
Phasen des Mondes	483
Phonograph	282
Phosphor	134
Phosphorescenz	285
Photographie	362
Photometer	288
Photosphäre	481
Physik	1. 3
Planeten	452. 493
Planetoiden	494
Pneumatik	23
Pneumatisches Feuerzeug	435
Polarisation des Lichtes	340
Polarisierung, elektrische	225
Polaristrobometer	344
Polarkreise	467
Polarlicht	192
Pole der Erde	458
Pole des Himmels	453
Pole, magnetische der Erde	150
Polhöhe	453
Porosität	5
Potential, elektrisches	174
Proportionen, chemische	112
Protuberanzen	481
Psychrometer	416
Pulsbammer	406

	Seite
Pumpe	102
Pyrometer	382
Quadratur	468
Quellen	86
Radikal	139
Rauch	132
Reals Presse	85
Reduktion, chemische	120
Reflexion des Lichtes	291
Refraktor	375
Regelation	387
Regen	421
Regenbogen	320
Regenmesser	422
Reibung	74
Reibungselektricität	157
Reif	431
Rektascension	456
Relais	235
Residuum, elektrisches	180
Resonanz	278
Resonator	269
Resultierende Kraft	23
Reversionspendel	61
Rheostat	213
Rhumkorffs Apparat	244
Richmannsche Regel	424
Rolle	37
Roses Metallgemisch	400
Rostpendel	63
Rückschlag, elektrischer	184
Sacharimeter	344
Sättigung, magnetische	149
Säule, thermoelektrische	230
Säule, trockene	199
Säuren	119. 137
Saiten, tönende	257. 260
Salmiak	137
Salmiakgeist	127
Salpetersäure	125
Salpetrige Säure	126
Salz	137
Salzsäure	136
Sauerstoff	128
Saugen	101
Saugheber	99
Saugpumpe	102
Schall	255

Seite
Schatten 286
Scheiben, tönende 261
Scheitellinie 450
Schiefe Ebene 39
Schmelzen, Schmelzwärme . 397
Schnee 421
Schnellwage 36
Schornsteine, Theorie derselben 388
Schraube 40
Schraube ohne Ende 42
Schraubendraht, elektrischer 238
Schwebungen, akustische . . 280
Schwefel 132
Schwefelige Säure 133
Schwefelsäure 133
Schwefelwasserstoff 134
Schwere 17
Schwerpunkt 28
Schwimmen 88
Schwingungen, stehende . . 270
Schwingungsknoten 260
Schwingungszahlen 257
Schwungkraft 67
Schwungrad 53
Scioptikon 361
Seewinde 389
Segners Wasserrad 85
Sehen, deutliches 365
Sehweite 367
Seitenkraft 23
Sekundärbatterie 225
Senkgläschen 88
Senkwage 88
Sieden 405
Sirene 258
Solenoid 238
Solstitien 464
Sonne 480
Sonnenfackeln 481
Sonnenferne der Erde . . . 475
Sonnenfinsternisse 485
Sonnenflecke 481
Sonnenmikroskop 360
Sonnennähe der Erde . . . 475
Sonnentag 454
Sonnenuhr 454
Sonnenwende 464
Spannkraft 78
Spannung, elektrische . . . 166
Spannungsreihe, elektrische 195
Spannungsreihe, thermoelektrische 231
Spektral-Analyse 327
Spektroskop 328
Spektrum, prismatisches . . 312
Sphärische Abweichung . . . 358
Spiegel, ebene 293
Spiegel, gekrümmte 344
Spiegelgalvanometer 208
Sprachrohr 277
Springbrunnen 90
Stabilität 31
Stärke des Lichtes 287
Stärke des Schalles 275
Stahl 132
Statik 23
Staubfiguren, Kundtsche . . 267
Stechheber 102
Stereoskop 371
Sternschnuppe 497
Sterntag 454
Stickstoff 124
Stickstoffdioxyd 126
Stickstoffoxyd 126
Stickstoffoxydul 126
Stimme, menschliche 268
Störungen der Planeten . . 495
Störungen, magnetische . . 155
Stöße, akustische 280
Stoffe, einfache 112
Stoß fester Körper 46
Stoß des Wassers 91
Strahlenbrechung, atmosphärische 305
Strom, elektrischer . . 179. 197
Stromstärke 208
Stromwender 201. 247
Stürme 397
Stundenkreis, -winkel. . . . 455
Suboxyd, Superoxyd 120
Synthese 112

Tangentenbussole 208
Tau 431
Tauchbatterie 205
Taucherglocke 5
Taupunkt 416
Teilbarkeit 6
Telegraphie, elektrische . . . 233
Telephon 252
Teleskop 375
Temperatur 379
Temperatur der Luft 442
Temperatur des Erdbodens, der Quellen und des Meeres 448
Temperatur, kritische 404
Thaumatropie 366
Theodolit 452
Thermochrose 430
Thermoelektricität 229
Thermometer 379
Thermometrograph 445
Thermomultiplikator 230
Tierkreis 465
Ton 257
Tonverhältnisse 258
Torricellischer Versuch . . . 93
Torsionselasticität 9
Torsionswage s. Drehwage.
Totale Reflexion 307
Trägheitsgesetz 14
Trägheitsmoment 48
Tragkraft, magnetische . . . 149
Tromben 397
Turbinen 85

Uhren 62
Uhren, elektrische 237
Undurchdringlichkeit 5
Untersalpetersäure 126

Verbindungsgewichte, chemische 113
Verbrennungsprozeß 117
Verdampfungswärme 408
Verdunstung 400
Vergoldung, galvanische . . 225
Verteilung, elektrische 168
Verteilung, magnetische . . 145
Verwandtschaft, chemische . . 111
Vibrationshypothese 283
Volt 217
Voltameter 210
Voltasche Kette 196
Volumen 4
Volumgewicht 18

Wärme 379
Wärme, Wesen derselben . . 432
Wärme, Quellen derselben . 434
Wärme, Abnahme derselben mit der Höhe 445

Seite
Wärme, Zunahme derselben mit der Tiefe 448
Wärme, gebundene 398
Wärme, specifische 423
Wärmeäquivalent 436
Wärmeeinheit 398
Wärmefärbung 430
Wärmeleitung 426
Wärmestrahlen, verschiedene 430
Wärmestrahlung 427
Wage, gemeine 35
Wage, hydrostatische 87
Wasser, Bestandteile 122
Wasser, abweichendes Verhalten zwischen 0° u. 4° 386
Wasserhosen 397
Wasserräder 91
Wasserstoff 120
Weitsichtigkeit 367

Seite
Wellen des Lichtes . . 283. 336
Wellen des Schalles . 266. 270
Wellen im Wasser 91
Wellrad 39
Weltachse 453
Wendekreise am Himmel . . 465
Wendekreise auf der Erde . 467
Wertigkeit 123
Wetterkarten 395
Wetterleuchten 189
Widerstand des Mittels . . 74
Wind 389
Windbüchse 104
Windhosen 397
Windkessel 103
Windregel, barische 393
Windstillen 391
Winkelgeschwindigkeit . . . 48
Winkelspiegel 294

Seite
Wirbelwind 395. 397
Wolken 419
Wurfbewegung 65

Zambonische Säule 199
Zauberlaterne 361
Zeigerwage 37
Zeitgleichung 470
Zenith 450
Zerlegung der Kräfte 25
Zodiakus 465
Zonen der Erde 467
Zungenpfeifen 267
Zurückwerfung des Lichtes . 291
Zurückwerfung des Schalles 276
Zusammensetzung der Kräfte 23. 27
Zusammensetzung des weißen Lichtes 312

Druck von G. D. Bädeker in Essen.

